



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사학위논문

스마트카드 자료를 활용한

시내버스 기능지표 연구

- 서울특별시 시내버스를 대상으로 -

A Study on Functional Index of City Bus
Using Smart Card Data: The case of Seoul

2016년 2월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 교통학전공

장 동 욱

스마트카드 자료를 활용한
 시내버스 기능지표 연구
- 서울특별시 시내버스를 대상으로 -

지도교수 이 영 인

이 논문을 도시계획학 석사학위논문으로 제출함

2015년 10월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과 교통학전공
장 동 욱

장동욱의 석사학위논문을 인준함
2015년 12월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

서울특별시 시내버스는 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스, 그리고 마을버스로 나뉘어 각 목적에 따라 운행되고 있다. 광역버스는 서울과 수도권 도시를 급행으로 연결하고, 간선버스는 시내 먼 거리를 운행하며, 지선버스는 버스과 지하철을 연계하고, 순환버스는 일정 구간을 순환 운행하며, 마을버스는 구내 단거리 통행을 목적으로 한다.

본 연구에서는 스마트카드 자료를 활용하여 이용객의 이용 양상을 반영하는 시내버스 기능지표를 개발하고, 이를 통해 현재 역할별로 나누어져 있는 시내버스를 비교·분석하였다. 개발한 기능지표는 접근성, 이동성, 연결성으로, 각각 이용근접성, 이동효율성, 환승가능성을 측정하는 지표로 설정하였다.

연구 결과 광역버스는 접근성과 연결성이 다소 낮지만 이동성이 매우 높은 장거리 통행 목적의 기능을 담당한다는 것을 기능지표를 통해 할 수 있었다. 간선버스와 지선버스는 지하철역과의 연계가 매우 잘 되어 있으며, 이때문에 높은 연결성을 보이는 결과를 낳았다.

순환버스는 일정 단거리 구간을 순환하는 특수한 기능을 가지고 있기 때문에 제시한 지표에 대해 모두 낮은 값을 나타냈으며, 마을버스는 이동성과 연결성은 낮으나 접근성 부문에서 매우 높은 값을 나타냈다.

기능지표를 통한 비교분석 결과는 대부분 본래 시내버스의 목적에 부합하는 방향으로 도출되었다. 향후 기능지표의 신뢰성이 높아지면 이를 통해 신설노선을 평가하거나, 지역별 시내버스 노선을 비교평가 할 수 있을 것으로 보인다.

주요어 : 시내버스, 기능지표, 스마트카드, 접근성, 이동성, 연결성

학 번 : 2014-24021

<목 차>

I 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위	2
3. 연구의 방법	3
II 선행연구 고찰	5
1. 국내문헌 고찰	5
2. 국외문헌 고찰	7
3. 시사점	7
III 기능지표 개발	9
1. 스마트카드 자료의 내용 및 특성	9
1) 자료의 장점	9
2) 자료의 내용	10
3) 사용할 스마트카드 자료 정보	13
2. 기능지표 정의	13
1) 접근성	14
2) 이동성	17
3) 연결성	18
IV 시내버스 기능지표 비교·분석	21
1. 연구 대상 시내버스	21
1) 서울특별시 버스의 종류	21
2) 연구 대상	22
2. 시내버스 기능지표 값 산출 및 분석	24
1) 접근성	24

2) 이동성	30
3) 연결성	32
3. 시내버스 종류별 고유 기능지표 값	35

V 결론 38

1. 연구의 요약	38
2. 연구의 한계 및 향후 연구 과제	39
1) 연구의 한계	39
2) 향후 연구 과제	40

■ 참고문헌 41

부록 1 각 시내버스 정류장 밀도지표 결과 값	43
부록 2 각 시내버스 정류장 배치지표 결과 값	47
부록 3 각 시내버스 정류장 이동성지표 결과 값	51
부록 4 각 시내버스 정류장 연결성지표 결과 값	55

<표 차례>

표 1 신성일 외(2008) 연구 정리 인용	6
표 2 스마트카드 자료의 장점	9
표 3 스마트카드 자료 수록 정보	11
표 4 스마트카드자료 카드 정보	11
표 5 스마트카드 자료 정류장 정보	11
표 6 스마트카드 자료 수집 가능한 교통 지표	12
표 7 접근성 도식화	15
표 8 연결성 도식화	18
표 9 연구 대상 시내버스 표본	23
표 10 광역버스 정류장 밀도지표	25
표 11 정류장 밀도지표 값 요약	26
표 12 광역버스 정류장 배치지표	28
표 13 정류장 배치지표 값 요약	29
표 14 광역버스 이동성지표	30
표 15 이동성지표 값 요약	31
표 16 광역버스 연결성지표	33
표 17 연결성지표 값 요약	34
표 18 종류별 시내버스 기능지표 값	35
표 19 종류별 시내버스 기능지표 평균 값 백분위 환산 및 다각형 그래프	36

〈그림 차례〉

그림 1 연구흐름도	4
그림 2 서울특별시 권역	22
그림 3 정류장 밀도지표 그래프	26
그림 4 정류장 배치지표 그래프	29
그림 5 이동성지표 그래프	31
그림 6 연결성지표 그래프	34
그림 7 광역버스 밀도지표 분포	36
그림 8 간선버스 밀도지표 분포	36
그림 9 광역버스 기능지표 그래프	37
그림 10 간선버스 기능지표 그래프	37
그림 11 지선버스 기능지표 그래프	37
그림 12 순환버스 기능지표 그래프	37
그림 13 마을버스 기능지표 그래프	37

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2015년 현재 서울시 버스 노선은 크게 광역, 간선, 지선, 순환, 그리고 마을버스로 나뉘어 구성되어 있다. 각 버스는 역할별로 그 기능에 따라 나누어져 있는 것으로, 교통수요자의 통행목적에 부합하며 운행하는 것을 그 목적으로 한다. 서울특별시버스운송사업조합¹⁾에 따르면, 마을버스를 제외한 서울 시내를 운행하는 버스의 기능은 다음과 같다. 먼저 서울과 수도권 도시를 급행으로 연결하는 광역버스, 서울 시내 먼 거리를 운행하는 간선버스, 간선버스와 지하철을 연계하면서 지역 내를 통행하는 지선버스, 그리고 도심과 부도심 내에서 단거리를 순환 운행하는 순환버스이다. 그리고 마을버스는 각 구에서 운행되며, 운행되는 구(區) 내의 단거리 통행을 목적으로 한다.

2014년 3월 기준 서울의 시내버스 노선의 수는 광역버스 11개, 간선버스 122개, 지선버스 214개, 순환버스 4개, 마을버스 235개로 총 586개 노선과 6,058개 정류장에 대해 시내버스 및 마을버스를 운행 중이다. 버스 이용객수는 2012년 기준 시내버스와 마을버스 합쳐 하루 평균 5,730,000명으로 서울시 인구의 반이 넘는 수치를 기록하고 있다.²⁾ 많은 서울 시민이 버스를 이용하는 만큼, 버스의 기능이 각 역할별로 구분되어 있는 것은 수많은 이용객들에게 의미를 지니는 것이며, 이것이 적절하게 되어 있어야 한다는 것은 당연하다.

우리나라에서는 시내버스 노선에 대한 적정성 평가를 진행하거나 범용 가능한 이동지표를 설정하는 연구(이상용 외, 2003; 윤혁렬, 2004; 신

1) <http://www.sbus.or.kr>

2) 서울특별시 교통통계 - 버스 (<http://traffic.seoul.go.kr/archives/300>)

성일;2004) 등이 진행되어 노선체계를 개편하거나 효과성을 높이기 위한 방안으로 사용되어왔다. 이러한 연구에서는 다양한 지표들을 활용하여 연구 당시 시내버스 노선체계에 대해 평가하고 지표상 부족한 점을 보완하기 위해 노선 체계를 변경하거나 질적 변경을 하여야 한다는 방향으로 진행되었다.

하지만 역할별로 그 기능이 나뉘어져 있는 시내버스를 서로 비교하여 평가한 연구는 아직까지는 미흡하다고 할 수 있다. 하나의 특정 시내버스에 대한 연구들, 특히 간선버스(한진석 외, 2009)에 대한 연구들만 몇몇 존재할 뿐이었다.

2004년 서울시 대중교통체계가 대폭 개편되면서 수집되는 스마트카드 자료는 개개인의 통행, 그 수단, 환승 정보 등을 모두 포함하고 있어 개개인의 통행 특성을 정확하게 파악 할 수 있다. 이를 이용한다면 실제 이용 양상을 반영한 효과적인 지표를 만들 수 있을 뿐만 아니라 정확성, 정시성, 확장성 등을 모두 갖춘 연구가 가능하다. 대중교통 카드자료를 활용한 연구 중에서는 지역 간 대중교통 서비스를 평가하는 방향의 연구가 여러 번 진행되었다. (신성일 외, 2008; 최명훈, 2010 등)

이에 본 연구에서는 스마트카드 자료를 활용하여 이용객의 이용 양상을 반영하는 시내버스 기능지표를 개발하고, 이를 통해 현재 역할별로 나뉘어져 있는 시내버스를 해당 지표로 비교분석하는 것을 목표로 한다. 개발한 기능지표는 시내버스의 노선평가나 권역·지역별 시내버스 기능을 측정·비교하는 데에도 활용하는 방향에 대해서도 활용할 수 있을 것이다.

2. 연구의 범위

본 연구의 주된 분석 도구로 활용될 스마트카드 자료의 특성에 따라 분석 대상, 공간범위, 그리고 시간범위를 설정하였다. 먼저 분석 대상은 서울특별시 소속으로 분류된 버스노선과 서울특별시 소속 구(區)를 통행

하는 마을버스를 포함한다. 앞서 언급했던 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스, 그리고 마을버스가 그 대상이 된다.

공간범위는 대상 버스가 그 노선으로서 통행하고 있는 서울특별시 및 수도권 권역으로 설정하였다. 여기서 수도권 권역은 서울 주변을 둘러싸고 있는 경기도 일대(의정부, 구리, 하남, 성남, 수원, 인천, 고양 등)를 의미한다. 또한 스마트카드 자료의 기록 날짜인 2013년 5월 22일 수요일을 연구의 시간범위로 설정하였다.

3. 연구의 방법

본 연구는 2013년 5월 22일 스마트카드 자료를 이용하여 시내버스의 기능을 반영할 수 있는 기능지표를 개발하고 이를 통해 역할별로 나누어져 있는 시내버스를 분석 및 설명하는 것이 목적이다. 기존에 진행되었던 연구들 중 시내버스를 평가하기 위한 지표에 대한 연구들은 먼저 버스의 운행을 평가하기 위한 각종 지표들에 대한 선행 연구들을 고찰하고, 이것을 바탕으로 고유한 기능지표를 개발하였다. 그리고 각 역할별 시내버스의 지표 값을 산출하고, 이를 토대로 각 시내버스만의 고유한 지표 값을 도출하였다.

선행 연구 고찰 부분에서는 크게 버스의 평가지표에 대한 연구들과 스마트카드 자료를 활용한 대중교통 연구를 살펴본다. 기존에 버스 노선 체계 전체를 평가하기 위한 평가지표 개발이 많이 이루어져 왔는데, 이 평가지표는 버스가 갖추어야 할 특징을 반영하여 만든 것이기 때문에 버스의 기능과 관련성이 높다고 할 수 있다. 또한 스마트카드 자료를 활용한 연구들은 스마트카드 자료만의 장점인 신뢰성, 정시성 등을 잘 활용한 경우가 많아 이를 고찰하여 스마트카드 자료 연구의 당위성을 높였다.

기능지표를 개발하는 부분에서는 크게 3가지 지표를 설정한다. 선행 연구를 참고하여 시내버스가 가져야 할 공간적, 시간적, 그리고 환승의

기능을 각각 접근성, 이동성, 연결성으로 설정하여 기능지표를 통해 시내버스의 기능을 설명하려는 것이다.

분석 단계에서는 스마트카드 자료를 활용하여 각 시내버스에 대응되는 기능지표 값을 도출한다. 이 기능지표 값은 각 시내버스의 여러 표본을 대상으로 도출될 것이며, 이를 토대로 특정 시내버스만의 고유한 지표 값을 정의하는 단계로 연구를 진행한다.

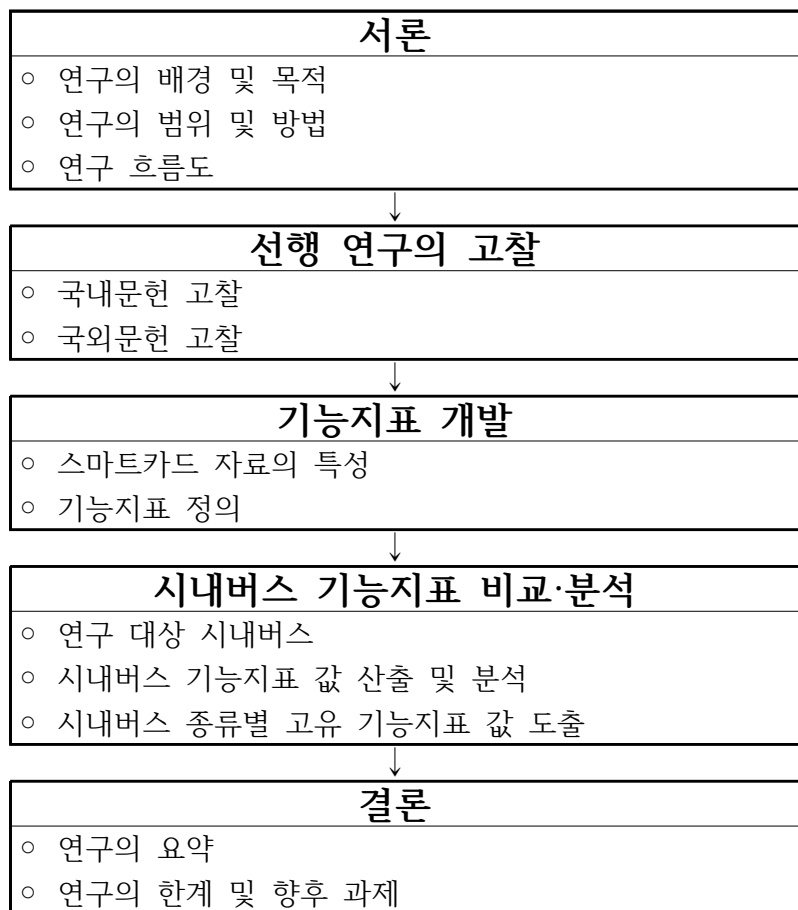


그림 1 연구흐름도

II 선행연구 고찰

1. 국내문헌 고찰

이상용 외(2003)는 시내버스 노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용에서 이용자, 운영자, 사회적 관점에서 각각의 평가지표를 정의하고 이를 토대로 경기도 시흥시 버스노선체계를 평가하여 대안을 제시하는 연구를 진행하였다. 이용자 관점에서의 평가지표는 접근성, 승차안락성, 환승률로 구성되었다. 이때 접근성(Accessibility)이란 버스서비스가 실제로 버스이용자들에게 얼마나 근접해 있는가를 평가하기 위한 것으로, 교통존(traffic zone) 별로 이용 가능한 버스정류장 밀도의 평균치를 접근성의 지표로 간주한다. 정류장 밀도는 면적대비 밀도와 인구대비 밀도로 구분하여 이를 평균한 값을 사용하였다. 환승률(Transfer Rate) 개념은 버스에서의 버스로의 환승만을 고려한 것으로, EMME/2 시스템의 로직에 의거하여 총 수단통행에 대한 환승통행의 비로 정의된다. 이 외에도 노선의 직결도(Ratio Directness)를 운영자관점에서의 평가지표로서 다루고 있는데, 이는 차내 통행시간과 연관되어 있는 것으로, 이용자관점에서의 평가지표로 볼 수도 있을 것이다. 직결도는 “1/굴곡도”로 산출되며, 직결도가 높을수록(단, 1.00보다 작은 값) 보다 빠르게 목적지까지 도달할 수 있다는 것을 의미한다.

서울시는 2004년 지·간선 노선체계를 정립하는 등의 대중교통체계를 개편하였는데, 이 개편에 활용된 각종 평가지표들 중 본 연구와 연관성 있는 것들을 살펴보면 이용자측면의 신속성, 접근성, 편리성이다. 신속성은 1인당 대중교통에 의한 통행시간을 의미하며, 접근성은 시가화 면적 대비 대중교통역세권 면적을, 그리고 편리성이란 환승횟수, 제공노선 수를 반영한 개념으로 이해하고 있다.

신성일(2004)의 대중교통 분석지표 개발에서는 공통적인 대중교통

분석지표를 개발하면서 대중교통 분석의 기준을 승용차의 통행시간으로 놓고 연구를 진행하였다. 정의하고 있는 지표는 총 3가지이며, 이중 본 연구와 관련 있는 지표 1과 2를 살펴보면 다음과 같다. 지표1은 대중교통시설 간의 이동성을 의미하는 것으로, 승용차의 최단통행시간 대비 대중교통의 최단통행시간을 나타낸 것이다. 지표2는 접근성을 포함한 분석 지표로서, 출발지에서 대중교통시설까지의 접근통행시간 개념을 추가한 것을 의미한다. 이때 대중교통의 최단통행시간은 출발지까지의 보행시간을 추가로 고려하여 나타낸다.

그 후 신성일 외(2008)는 대중교통 카드자료를 이용한 지역 간 대중교통 서비스 평가 방안에서 카드 자료를 통해 도출 가능한 대중교통 평가지표를 다음과 같이 구축하였다.

표 1 신성일 외(2008) 연구 정리 인용

서비스지표	지표 산출	비고
평균 통행시간	○	대중교통카드
평균 통행속도	○	정류장 위치자료 및 대중교통카드
총 환승횟수	○	대중교통카드
평균 환승시간	○	대중교통카드
승용차대비 통행시간	△	승용차 통행시간 고려 필요
평균 승차요금	○	대중교통카드
혼잡도	△	탑승인원 고려 가능
정류장 접근시간	△	대중교통 이동성 지표 활용
지역간 통행특성	○	정류장 위치자료 및 대중교통자료
○ : 도출 가능 △ : 향후 도출 가능		

장경옥 외(2011)은 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 도시 내 지역 간 직결노선버스 기종점 선정에 관한 연구에서 기존의 연구들을 정리하면서 이동성 지표는 크게 ‘얼마나 빠르게 이동하는가’, ‘얼마나 접근하기 쉬운가’, 그리고 ‘얼마나 편안한가’로 구분하여 분석하였다. 이를 토대로 직결노선 구축 시 통행시간 측면에서 대중교통의 경쟁력 확보 문제

인 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 지역 간 직결노선의 기종점 선정문제를 다루고 있다. 이때 이동성은 승용차 통행시간 대비 대중교통 통행시간을 의미한다.

2. 국외문헌 고찰

미국 플로리다 주(Florida, 2000)에서는 대중교통 이동성 지표를 개발하는 연구를 진행하면서 접근성(Accessibility)라는 이동성의 한 부분을 정의하였다. 접근성에는 환승시설로의 연결성(Connectivity to intermodal facilities), 주거 근접성(Dwelling unit proximity), 직장 근접성(Employment proximity), 산업/공장시설 근접성(industrial/warehouse facility proximity)을 포함한다.

미국교통연구위원회(Transportation Research board, 2003)에서는 대중교통 평가 항목으로 통행시간(Travel time)을 설정하면서 이를 다른 수단, 특히 승용차의 통행시간 대비 대중교통 통행시간 비율로 정의하였다.

Liping Fu et al.(2007)은 TSI(Transit Service indicator)라는 개념을 도입하면서 승용차와 대중교통의 통행시간과 보행시간 비율을 대중교통 평가지표로 사용하였고, 이를 통해 여러 수단을 이용하는 이용객에 대한 지표 값을 산출하였다.

3. 시사점

대중교통에 대한 많은 선행연구들에서 공통적으로 평가하고 있는 사항들은 매우 많지만, 이용자의 주관성이나 사회적 형평성과 같은 요소들을 배제한 물리적인 기준들만 살펴보면 중요한 수 개의 지표를 추려낼 수 있다. 바로 대중교통과의 접근성, 대중교통 자체의 이동성, 그리고 다른 대중교통과의 연계성이다.

또한 최근에 들어오면서 하나의 지표로 모든 것을 평가하기보다는 세부적인 지표를 설정하거나 하위지표를 만들어서 대중교통을 보다 효과적으로 평가하려는 시도가 이루어지고 있다.

본 연구는 이를 활용하여 대중교통의 기능을 나타내는 지표를 만들고 이를 토대로 현재 운행되는 시내버스의 기능을 비교해보는 과정의 연구를 진행한다.

Ⅲ 기능지표 개발

1. 스마트카드 자료의 내용 및 특성

연구에서 활용한 스마트카드 자료는 서울시 시내버스 카드 단말기에 태그하여 사용할 수 있는 선불교통카드(티머니, T-money) 자료를 수집한 것이다.

1) 자료의 장점

2004년 서울시 대중교통 개편과 함께 도입된 교통카드는 그 이용 정보가 전산과정을 통해 이루어지므로 사람이 조사하는 방식에 비해 정확성이 높다고 할 수 있다. 또한, 교통카드의 이용은 1년 365일 24시간 수도권 어느 지역에서나 이용 가능하기 때문에 시간별, 일별, 요일별, 계절별 등 전 시간대 및 전 지역에 걸친 자료습득이 가능하며, 설문조사와 같은 직접조사가 아닌 이미 구축되어 있는 카드시스템을 사용하므로 비용면에서도 저렴하다. 현재 점차 교통카드 이용비율이 높아지는 추세로 향후 전수조사에 가까운 자료의 습득이 가능할 것으로 판단되며, 지역 간/기관 간 교통카드 정보의 통일화 작업을 통해 전국 단위 대중교통 이용패턴 분석이 가능할 것으로 판단된다.³⁾

표 2 스마트카드 자료의 장점

장점	내용
정확성	수집 자료의 정확성 및 신뢰성 증대
경제성	조사비용의 획기적 절감
지역성	모든 시간대 및 광범위한 지역에 걸친 자료 취득 가능
단축성	실시간 자료구축 또는 자료취득 시간의 단축

3) 박진영(2006), 대중교통정책수립에 있어서 교통카드 자료 활용방안 연구, 한국교통연구원

활용성	통행목적 파악을 위한 자료의 활용가능성 증대
확장성	방대한 자료 수집 가능 및 향후 정보 확장 가능
안전성	안전사고 및 돌발상황 예방
범용성	다양한 목적으로의 교통카드 사용 가능

2) 자료의 내용

(1) 스마트카드 자료 수록 정보

사용한 스마트카드 자료는 이용객이 태그한 카드에 가상번호를 부여하여 나열한 것으로, 사용한 교통수단, 노선정보, 운수회사정보, 차량정보, 승·하차 시간, 승·하차 정류장 정보, 이용자그룹정보, 이용인원, 승·하차 요금 정보를 알 수 있다.

표 3 스마트카드 자료 수록 정보

항목	가용성	항목	가용성
가상카드번호	○	이용자그룹	○
교통수단분류	○	인원	○
트랜잭션ID	○	승차요금	○
노선ID	○	하차요금	○
노선명	X	승차위반요금	X
운수회사코드	○	하차위반요금	X
운수회사명	X	총 이용거리	X
차량ID	○	총이용시간	X
차량번호	X	지역코드	○
운행시작시간	X	일반승차가운터	○
운행종료시간	X	학생승차카운터	○
승차시간	○	어린이승차카운터	○
승차정류장ID	○	기타승차카운터	○
승차정류장명	X	타임코드	○
하차시간	○	이용일	○

하차정류장ID	○	승차일	○
하차정류장명	X	승차시간	○
환승횟수	○	하차일	○
이용자구분코드	○	하차시간	○

(2) 스마트카드 자료 예시

① 카드 정보

표 4 스마트카드자료 카드 정보

가상카드 번호	교통수단 분류	트랜잭션 ID	노선ID	운수회사 코드	차량ID	승차시간	승차정류 장ID
423834	9	92	2000000 0	2111000 00		2013052 2140040	1901
423836	4	96	1111069 6	1115013 70	1117551 32	2013052 2201538	9008732
423836	6	95	1111035 4	1110045 00	1117445 06	2013052 2174005	9002069
하차시간	하차정류 장ID	환승 횟수	이용자구 분코드	이용자 그룹	인원	승차요금	하차요금
2013052 2142225	1906	0	1	일반	1	1050	0
2013052 2203006	9008081	0	1	일반	1	750	0
2013052 2174031	9002069	3	1	일반	1	0	0
지역코드	일반승차 카운터	타임코드	이용일	승차일	승차시간	하차일	하차시간
1100000 000	1	14	1	2013052 2	140040	2013052 2	142225
1100000 000	1	20	1	2013052 2	201538	2013052 2	203006
1100000 000	1	17	1	2013052 2	174005	2013052 2	174031

② 정류장 정보

표 5 스마트카드 자료 정류장 정보

구분	역코드	전수화존	역명	행정동코드
KSCC정류장	1	1117005	한진아파트(기점)	1117065
KSCC정류장	2	1117005	국민은행.개봉전화국	1117065
KSCC정류장	15	3106001	남부주유소	3106055

③ 수집 가능한 교통 지표⁴⁾

한국교통연구원(2006)에서는 스마트카드 자료를 통하여 산출 가능한 지표를 제시하여 이를 활용할 수 있도록 하였다. 크게 통행요소, 운임수입, 환승, 기종점통행량이라는 네 부문으로 나누어 각각의 부문에 맞는 지표를 산출하는 방법을 제시했다.

표 6 스마트카드 자료 수집 가능한 교통 지표

구분	지표	산출방법
통행 요소	정류장별 이용승객	정류장별 승차인원 및 하차인원 수
	노선별, 수단별 이용승객	노선별, 수단별 승차인원 및 하차인원 수
	승객유형별 이용횟수	승객유형별 승차인원 및 하차인원
	차량1대당 운송실적	총 승차인원/차량대수
	차량별 평균재차인원	구간별 재차인원의 합/구간수
	1인당 평균 통행시간	승차시간과 하차시간의 차이의 평균
	1인당 평균 통행거리	승차지역과 하차지역간 거리의 평균
	1인당 평균 통행횟수	총통행수/이용자수
	수단별 평균 이용시간	각 수단별 평균 이용시간
운임 수입	혼잡율	현재승차인원+승차인원-하차인원
	1인당 평균 요금	지불요금의 평균
	차량 한 대당 운임수입	운임수입의 합
환승	노선별 운임수입	노선별 총 운임수입
	평균 환승 횟수	통행수의 합/총 이용자 수
	평균 환승소요시간	이전수단 하차시간과 환승한 수단의 승차시간 차이의 평균
기종점 통행량	평균 환승이용요금	환승이 발생한 경우의 총 지불요금의 평균
	기종점통행량	승차 및 하차지역의 통행 쌍

4) 박진영(2006), 대중교통정책수립에 있어서 교통카드 자료 활용방안 연구, 한국교통연구원

3) 사용할 스마트카드 자료 정보

스마트카드 자료 정보 중 본 연구에 사용된 항목은 다음과 같다; 이용노선ID, 승·하차 정류장 ID, 승·하차 정류장 누적거리, 승·하차 시간, 정류장 수.

2. 기능지표 정의

스마트카드 자료를 활용하여 시내버스를 각 역할별로 구분할 수 있는 기능지표를 개발하고 이를 통하여 시내버스 별로 고유의 지표 값을 도출하는 것이 연구의 목적이므로, 지표를 어떻게 정의할 것인지가 가장 먼저 결정되어야 한다. 대중교통에 대한 많은 선행연구들에서 공통적으로 평가하고 있는 사항들은 매우 많지만, 이용자의 주관성이나 사회적 형평성과 같은 요소들을 배제한 물리적인 기준들만 살펴보면 중요한 수개의 지표를 추려낼 수 있다. 바로 대중교통과의 접근성, 대중교통 자체의 이동성, 그리고 다른 대중교통과의 연계성이다.

선행연구들의 평가지표들을 참고하여 크게 3가지 기능지표를 설정하고 이를 토대로 시내버스의 역할을 정량적인 수치로 비교·분석하였다. 설정한 지표는 접근성, 이동성, 그리고 연결성으로 지칭하였다. 이는 위에서 언급한 3가지 기준인 대중교통과의 접근성, 대중교통 자체의 이동성, 그리고 다른 대중교통과의 연계성을 대표하는 지표이다.

많은 선행연구에서 환승에 관련된 항목들을 접근성이나 이동성의 하위지표로 활용하고 있는데, 이는 접근성과 이동성의 개념을 포괄적으로 정의하였기 때문인 것으로 본다. 본 연구에서는 접근성과 이동성이 각각 근접성과 속도를 의미하는 협의의 개념으로 정의할 것이므로, 환승과 관련된 것은 별도의 연결성 지표로 나타낸다.

$$F_{bs} = f(I_{ac}, I_{mb}, I_{cn})$$

여기서, F_{bs} = 시내버스의 기능

I_{ac} = 접근성 지표

I_{mb} = 이동성 지표

I_{cn} = 연결성 지표

각 지표는 그 값이 클수록 그 기능 수행력이 높음을 의미하도록 설계하였고, 이 세 가지 지표를 통해 시내버스의 기능을 역할별로 비교할 수 있다. 결론적으로 기능지표를 풀어쓰면, 접근성, 이동성, 그리고 연결성이 높을수록 그 시내버스는 정류장이 많고 고르며, 구간속도가 빠르고, 연결되는 환승노선이 많다는 의미가 된다.

1) 접근성

접근성은 통행발생지와 버스 노선과의 이용근접성을 말한다. 버스 이용객이 버스를 이용하는 장소는 버스 정류장이므로, 이용근접성은 버스 정류장과 관련된 개념으로 이해할 수 있다. 버스 정류장이 많으면 많을수록, 당연히 이용근접성은 높다고 할 수 있다. 하지만 단순히 수가 많다고 하여 접근성이 높다고 볼 수는 없고, 시내버스 노선 길이에 비해 얼마나 많은지, 그리고 골고루 배치되어 있는지가 고려되어야 한다.



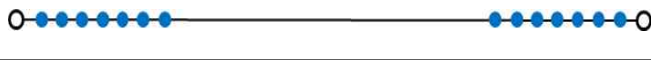
이때 골고루 배치되어 있는가에 대한 여부는 이용자가 어디서든 특정 버스를 이용 가능한지 알아보는 매우 간단한 방법의 수학적 계산을 의미한다. 각 버스의 수요 또는 목적에 따라 고유의 경유·비경유 정류장이 존재할 것이고, 이러한 정류장 배치를 수치화 하여 접근성으로 표현하였다.

본 연구에서의 접근성은 시내버스 노선의 접근성을 서로 비교하는데 초점을 맞추었기 때문에 이용객 개개인의 통행발생지와 버스정류장

간의 거리를 고려해서 접근성 지표를 정의하지는 않았다. 즉, 각 종류의 시내버스를 이용하는 이용객 개개인의 통행발생지와 버스정류장 사이의 평균 거리는 모두 일정하다고 가정한다. 하지만 보다 정교한 연구를 위해서라면, 향후 이러한 고려는 필요하다고 생각한다.

앞서 말했듯 개별 시내버스의 접근성을 정의하는 것은 경유하는 버스정류장의 수가 기준이 된다. 그 개수는 노선 길이 대비 버스정류장의 수가 중요하고, 정류장의 배치는 한쪽에 치우치지 않고 골고루 되어 있어야 접근성이 높다고 간주하였다. 이를 도식으로 표현하면 다음과 같다.

표 7 접근성 도식화

접근성 정도	도 식	정류장 수
낮은 접근성		8
높은 접근성		16
낮은 접근성		16

노선길이 대비 버스정류장 수는 경유하는 정류장 개수를 총 이동거리로 나눈 값으로 적용한다. 개념적으로 보면 버스 정류장 개수의 밀도라고 할 수 있다. 정류장의 배치는 정류장간 거리의 표준편차를 이용해서 구하였다. 정류장이 고르게 배치되어 있다면 표준편차 값은 작을 것이고, 어느 한 쪽으로 치우쳐 있다면 그 반대의 결과를 가질 것이다. 전체적으로 지표의 설계를 그 값이 클수록 수행력이 높도록 설계하였으므로, 표준편차의 역수를 활용한다. 이로써 도출되는 값은 숫자 자체에 의미가 있는 값이 아니고, 단순히 크기의 상대적인 비교만이 가능할 뿐인 것이다.

정류장 밀도와 배치의 두 개념을 하나의 식으로 합치는 것은 결코 쉬운 작업이 아니다. 첫 번째 정류장 밀도 개념의 단위는 개/km(혹은

m)이고, 두 번째 정류장 배치 개념의 단위는 km(혹은 m)이기 때문이다.
따라서 이를 두 가지 항목으로 나누어 생각하기로 한다.

$$I_{ac} = f(D_{bs}, A_{bs})$$

여기서, I_{ac} = 접근성 지표

D_{bs} = 버스정류장 밀도

A_{bs} = 버스정류장 배치

(1) 버스정류장의 밀도

$$D_{bs} = \frac{N_{bs}}{L_{rt}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수

L_{rt} = 노선길이

(2) 버스정류장의 배치

$$A_{bs} = \frac{1,000}{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_{bs}} (s_k - m_s)^2}{N_{bs}}}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수

s_k = k번째 정류장과 다음 정류장 사이의 거리

m_s = s_k 의 평균

1,000 = 크기를 맞추기 위한 상수

2) 이동성

이동성은 해당 시내버스 이용 시 목적지까지의 이동효율성을 일컫는 말이다. 여기서 이동효율성이란 얼마나 빨리 통행목적지에 도달할 수 있는가를 의미하는 것으로, 속도의 개념과 비슷하다. 스마트카드 자료는 이용객 개개인의 승·하차 시간을 알 수 있으므로, 개개인이 얼마나 빠르게 목적지에 도달하였는지를 알 수 있다.

하지만 대중교통은 일반 승용차와 다르게 대기시간이라는 것이 존재한다. 이때 대기시간이란 버스정류장에서 자신이 원하는 시내버스를 기다리는 시간을 의미한다. 접근성 지표를 통해 버스정류장까지의 이용근접성을 판단하였으니, 버스정류장에서 대중교통까지의 또 다른 이용근접성을 고려해야 한다. 단순히 차내시간만 이동시간이 아니라, 차외시간까지 이동시간으로 포함시켜야 한다는 것이다.

서울시 시내버스의 경우 시간대별(출·퇴근 시간대와 일반시간대)로 배차간격이 매우 일정하게 유지되고 있다. 따라서 대기시간은 각 시내버스 일반 시간대 배차간격의 절반 값으로 보고 지표를 설정하였다.

$$I_{mb} = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{t_k + t_k^{wt}}$$

여기서, I_{mb} = 이동성 지표

n = 시내버스 이용객 표본 수

l_k = 이용객 k의 이동거리

t_k = 이용객 k의 차내시간

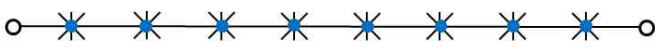

t_k^{wt} = 이용객 k의 대기시간(차외시간)

3) 연결성

연결성은 환승으로 대표되는 지표로서, 다른 대중교통수단을 연결해주는 가능성을 의미한다. 이때 다른 대중교통수단이란, 택시를 제외한 버스와 지하철로 한정한다. 본 연구에서는 환승의 개념을 이용한 시내버스에서 하차한 뒤 하차한 정류장에서 다른 시내버스를 타거나, 또는 가까운 지하철역까지 도보로 이동한 뒤 지하철을 타는 것이라 정의하고 연구를 진행하였다. 편의상 전자를 버스-버스 환승, 후자를 버스-지하철 환승이라 칭한다.

이러한 정의 하에서, 버스-버스 환승의 경우 하차한 버스정류장에 많은 시내버스 노선이 지나가면 지나갈수록 환승할 수 있는 선택권과 가능성은 높아진다. 이는 경유하는 정류장 하나당 평균적으로 다른 시내버스 노선이 몇 개나 지나가는지를 측정하여 알아낸다. 이를 도식화하면 다음과 같다.

표 8 연결성 도식화

연결성 정도	도 식	평균 경유 노선 수
높은 연결성		$3 \times 8 \div 8$ $= 3$
낮은 연결성		$1 \times 8 \div 8$ $= 1$

버스-지하철 환승의 경우에는 버스정류장 근처에 지하철역이 있는 경우에 역시 환승할 수 있는 선택권과 가능성이 높아진다. 따라서 경유 정류장 근처에 지하철역이 많을수록 연결성이 높아지는 것이다. 하지만

버스정류장과 지하철역은 담당하는 이동수단이 다르기 때문에, 버스-버스 환승과 버스-지하철 환승을 동시에 식으로 표현하기 위해서는 버스정류장과 지하철역의 차이를 일치시켜주어야 한다.

본 연구에서는 이 차이를 일치시키기 위해 버스와 지하철의 수단분담률을 활용하였다. 서울 시내 존재하는 버스정류장의 수는 6,058개, 대부분 양 방향에 존재하므로 한 방향에 3,029개라고 볼 수 있고, 9개 지하철에 존재하는 지하철역의 수는 302개이다. 각각의 수단분담률은 버스 28.1%, 지하철 36.2%이다. 이를 중합하여 하나의 버스정류장과 지하철역의 수단분담률 비중을 따져보면, [1 : 12.9]의 값이 나온다.

$$[\text{버스정류장}] : [\text{지하철역}] = 28.1/3,029 : 36.2/302 = 1 : 12.9$$

이를 토대로 보면 1개의 지하철역은 버스정류장 약 12.9개의 이용객 분담효과를 갖는다고 볼 수 있다. 따라서 버스-지하철 환승의 경우 경유하는 지하철역이 존재한다면 이는 12.9개의 버스정류장을 더 경유하는 것으로 간주한다.

$$I_{cn} = \frac{N_{ln}}{N_{bs}} + \frac{\left(\frac{N_{ln}}{N_{bs}} \times N_{sw} \times 12.9\right)}{N_{bs}}$$

여기서, I_{cn} = 연결성 지표

N_{bs} = 경유 정류장 수

N_{ln} = 경유 정류장 총 노선 수

N_{sw} = 경유 지하철역 수

12.9 = 지하철역 가중치

연구에 사용한 자료에서 특정 버스노선이 경유하는 정류장에 다른

버스들이 얼마나 지나가는지를 측정하여 이를 경유 정류장 총 노선 수 (N_{ln}) 라고 정의하였다. 경유 정류장 총 노선수를 경유하는 정류장 수로 나누면 하나의 정류장에 평균적으로 지나가는 버스의 수($\frac{N_{ln}}{N_{bs}}$)를 알 수 있다.

지하철은 앞서 계산한 가중치를 가지고 환승의 비중을 정한다. 특정 버스노선이 어느 하나의 지하철역을 경유할 경우, 이는 12.9개의 정류장 만큼을 추가로 경유하는 것과 같은 효과를 낸다고 본다. 앞서 한 개념 정리의 결과 하나의 정류장에 평균적으로 지나가는 버스의 수는 $\frac{N_{ln}}{N_{bs}}$ 로 볼 수 있으므로, 해당 버스노선이 경유하는 지하철역의 수를 N_{sw} 로 보았을 때 $\frac{N_{ln}}{N_{bs}} \times N_{sw} \times 12.9$ 만큼의 추가 버스가 지나가는 개념으로 정리할 수 있다. 여기서 정류장이 추가된다는 것은 중간 과정에서 개념적으로 추가된다는 것이지 실제로 추가되는 것은 아니므로 평균을 구하기 위한 분모는 그대로 본래의 경유 정류장 수가 된다.

만약 지하철역이 환승역일 경우, 지나가는 노선의 수만큼 지하철역의 수를 높여준다. 예를 들어 버스정류장 근처에 사당역이 있을 경우, 사당역은 2호선과 4호선이 동시에 지나므로, 2개의 지하철역이 존재하는 것으로 본다.

IV 시내버스 기능지표 비교·분석

1. 연구 대상 시내버스

서울시에는 586개의 시내버스(광역, 간선, 지선, 순환) 노선과 235개의 마을버스 노선⁵⁾이 운행 중이며, 하루 이용객은 약 573만 명에 달한다. 이 모든 시내버스에 대해 기능지표 값을 산출하고 비교하는 것은 물리적으로 불가능하므로, 연구대상으로 활용될 각 역할별 버스의 표본을 선택적으로 선정하여 이를 토대로 분석을 진행하고자 한다. 이는 서울특별시 전 지역을 걸쳐 운행되는 버스의 특성을 반영하는 것이다.

1) 서울특별시 버스의 종류⁶⁾

서울특별시 소속 버스는 기능별 4종으로 나누어 볼 수 있는데⁷⁾, 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스이다. 광역버스는 서울과 수도권 도시를 급행으로 연결하는 빨간색 버스로, 버스번호는 [9 + 경기도출발권역번호 + 2자리일련번호]로 구성된다. 총 14개의 노선이 있으며, 점유율은 약 2%이다.

간선버스는 서울 시내 먼 거리를 운행하는 파란색 버스로, 버스 번호는 [출발권역번호 + 도착권역번호 + 1자리일련번호]로 구성된다. 총 122개 노선이 있으며, 점유율은 약 21%이다.

지선버스는 간선버스나 지하철로의 연계 및 권역 내 통행을 위한 초록색 버스로, 버스번호는 [출발권역번호 + 도착권역번호 + 2자리일련번호]로 구성된다. 총 214개 노선이 있으며, 점유율은 약 36%이다.

순환버스는 도심과 부도심 내에서 단거리를 순환하는 노란색 버스

5) 2013년 기준

6) 2013년 기준

7) 서울특별시버스운송사업조합

로, 버스번호는 [권역번호 + 1자리일련번호]로 구성된다. 총 6개 노선이 존재한다.

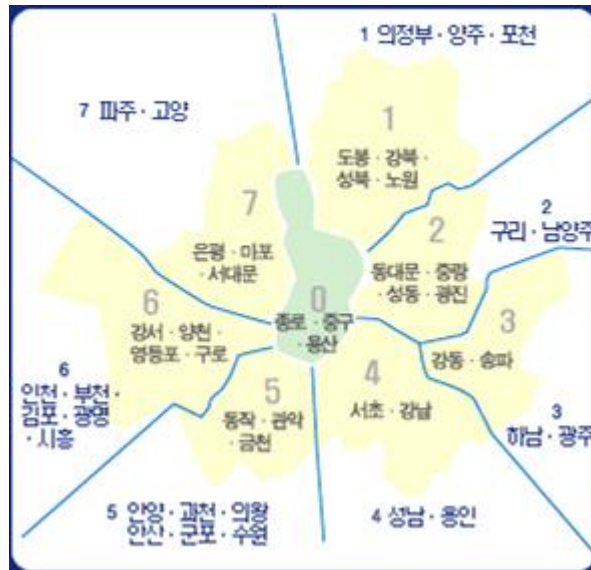


그림 2 서울특별시 권역

이 외에 서울특별시 소재 각 구에 소속되어 있는 마을버스들이 존재하는데, 그 노선 수는 235개, 점유율은 40%에 달한다. 따라서 버스 수단 통행에 마을버스가 차지하는 비중이 매우 높다고 볼 수 있다. 마을버스는 구내 단거리 통행을 목적으로 하는 연두색 버스로, 버스 번호는 [구명 + 2자리일련번호]로 구성된다.

본 연구에서 말하는 서울특별시 시내버스는 이 5종의 기능별 버스를 의미하며, 이 5종의 시내버스의 기능을 미리 정의한 지표들을 통해 비교·분석할 것이다.

2) 연구 대상

연구에 사용될 대상 노선은 각 기능별 버스의 운행 권역을 반영하여 선택한다. 권역의 특징이 모두 반영될 수 있도록 각 권역별 시내버스 표

본의 수를 정하여 무작위로 추출하였다. 총 표본의 수는 통계적으로 유의미한 최소 표본 수인 30개를 추출하였으며, 표본의 수가 30개가 되지 않는 광역버스(14종)와 순환버스(6종)의 경우에는 모든 버스에 대해 연구를 진행하였다.

표 9 연구 대상 시내버스 표본

	광역버스	간선버스	지선버스	순환버스	마을버스
버스 번호	9401	102	1113	02	강남01
	9401B	108	1120	03	강북02
	9403	120	1137	05	강북06
	9404	144	1218	41	강서03
	9408	171	1224	61	관악02
	9409	202	2013	62	광진03
	9503	240	2211		구로06
	9701	263	2233		금천01
	9703	272	2412		노원09
	9707	273	3011		도봉02
	9709	302	3212		동대문02
	9710	320	3314		동작01
	9711	342	3414		동작14
	9714	360	3422		마포02
		401	4212		마포03
		441	4318		서대문02
		461	4426		서대문13
		472	4433		서초01
		500	5413		서초10
		507	5515		서초17
		540	5530		성동07
		571	5627		성동09
		602	6511		성북05
		605	6620		성북22
		643	6631		양천03

	673	6715		영등포02
	700	7011		용산01
	707	7021		은평06
	720	7713		종로09
	753	7739		중랑01

모든 버스가 연구대상이 된 광역버스는 경기도 고양시 일산구와 경기도 성남시 분당구를 운행하는 버스인 경우가 대부분이다. 간선버스와 지선버스는 8개의 권역을 골고루 반영할 수 있도록 표본을 추출하였는데, 동일한 앞자리 번호를 가진 지선버스(예: 7739)의 경우는 서울시 권역과 경기도 권역을 운행하는 버스와 서울 시내를 관통하는 버스와는 성격이 약간 다르다고 볼 수 있다. 순환버스는 여의도와 남산을 순환하는 버스이다. 마을버스는 각 구의 마을버스 비율에 맞추어 무작위로 표본을 추출하였다. 몇몇 버스는 구를 관통하기도 하지만, 대부분 구내에서 단거리 통행을 담당하고 있다.

2. 시내버스 기능지표 값 산출 및 분석

1) 접근성

앞서 접근성 지표는 버스정류장의 밀도와 버스정류장의 배치 두 가지 항목으로 구성하였다. 두 지표 모두 높으면 높을수록 그 종류의 버스가 접근성이 높은 것을 의미한다.

$$I_{ac} = f(D_{bs}, A_{bs})$$

여기서, I_{ac} = 접근성 지표

D_{bs} = 버스정류장 밀도

A_{bs} = 버스정류장 배치

(1) 버스정류장의 밀도

$$D_{bs} = \frac{N_{bs}}{L_{rt}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수

L_{rt} = 노선길이

버스정류장 밀도 값 산출에 필요한 자료는 해당 시내버스 노선이 경유하는 정류장의 총 수와 노선 길이이다. 노선 길이는 정류장 누적거리로도 볼 수 있다.

표 10 광역버스 정류장 밀도지표

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
9401	57	72,361	0.7877171
9401B	59	74,742	0.7893821
9403	131	73,903	1.7725938
9404	106	79,012	1.3415684
9408	113	78,964	1.4310319
9409	102	80,212	1.2716302
9503	111	63,647	1.7439942
9701	132	78,497	1.6815929
9703	116	66,503	1.7442822
9707	75	64,543	1.162016
9709	138	75,999	1.8158134
9710	136	86,245	1.576903
9711	83	94,328	0.8799084

9714	40	76,285	0.5243495
광역버스 정류장 밀도지표 평균			1.323056

정류장 밀도 지표 값은 1km당 존재하는 버스정류장의 수를 나타낸다. 즉 광역버스 9401의 경우 지표 값이 약 0.78 정도 나왔으므로 1km당 약 0.78개의 버스 정류장이 존재하는 것이다.

이와 같이 정류장 수와 정류장 누적거리를 활용하여 각 버스 노선별 정류장의 밀도를 도출하고, 이를 평균한 값을 분석에 사용할 것이다. 광역버스 뿐만 아니라 간선버스, 지선버스, 순환버스, 마을버스까지 다음의 과정을 반복하고, 이를 요약하면 다음과 같다.

표 11 정류장 밀도지표 값 요약

버스 종류	정류장 밀도지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	1.323056	
간선버스	1.999137	
지선버스	2.446331	
순환버스	1.838347	
마을버스	4.25115	

그림 3 정류장 밀도지표 그래프

각 종류별 시내버스의 운행 목적을 다시 한 번 살펴보았을 때, 마을버스는 구내의 단거리 통행을 목적으로 한다. 즉 짧은 거리에 많은 정류장을 두어 주민들의 이동을 편리하게 하는 것이 운행 목적이고, 그 목적에 맞게 다른 종류의 시내버스 보다는 월등히 높은 정류장 밀도 값을 나타냈다.

그 뒤로 지선버스가 간선버스나 순환버스보다 정류장 밀도가 꽤 높게 나타났는데, 그 이유도 역시 운행목적에서 찾을 수 있다. 지선버스는

권역별 교통수요 보다 권역 내 교통수요를 처리하는 역할을 담당하는 버스이므로 마을버스와 어느 정도 비슷한 성격을 갖고, 비교적 높은 정류장 밀도 값을 나타낸다.

간선버스와 순환버스는 비슷한 밀도지표 값이 도출되었다. 도심 및 시내통행이라는 공통점이 이러한 결과가 나오게 된 이유로 보인다. 하지만 근본적으로 둘의 성격은 약간 다른데, 간선버스는 장거리 통행을 위주로 하는 반면 순환버스는 비교적 단거리 통행을 위주로 하고 있다는 큰 차이가 있다.

광역버스의 경우 고속도로를 경유하는 경우가 많고, 고속도로에는 정류장이 없기 때문에 당연히 정류장 밀도가 낮을 수밖에 없다. 또한 정차를 줄이고 급행으로 서울과 수도권을 연결하기 때문에 밀도가 낮게 나타난다.

다각형 그래프를 보면 마을버스가 밀도지표가 월등히 높고, 광역버스가 매우 낮은 것을 한 눈에 알 수 있다.

(2) 버스정류장의 배치

$$A_{bs} = \frac{1,000}{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_{bs}} (s_k - m_s)^2}{N_{bs}}}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수

s_k = k번째 정류장과 다음 정류장 사이의 거리

m_s = s_k 의 평균

1000 = 크기를 맞추기 위한 상수

버스정류장 배치 값 산출에 필요한 자료는 해당 시내버스 노선이 경

유하는 정류장의 수와 정류장간 거리이다. 거리차이의 표준편차를 활용하여 버스정류장 배치가 잘 퍼져 있는지를 확인한다. 이는 단순히 숫자의 값으로 나타나는 것이고, 서로 수학적인 비교는 불가능하다. 단순히 크기의 차이로 비교할 수 있을 뿐이다.

표 12 광역버스 정류장 배치지표

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
9401	57	3529.437	0.283331
9401B	59	3466.832	3.155683
9403	131	316.8886	0.69021
9404	106	1448.835	1.253663
9408	113	797.6623	0.627296
9409	102	1594.143	2.346753
9503	111	426.1207	2.45279
9701	132	407.699	2.827371
9703	116	353.6854	0.881532
9707	75	1134.388	3.684446
9709	138	271.4112	3.589225
9710	136	278.6117	0.389793
9711	83	2565.467	0.504054
9714	40	1983.913	0.288448
광역버스 정류장 배치지표 평균			1.641043

정류장 배치지표는 개념적으로 정의할 수 있는 값으로 나오는 지표는 아니다. 즉, 정류장 밀도지표는 ‘1km당 존재하는 정류장의 수’라고 개념적으로 정의할 수 있지만, 정류장 배치지표는 지표의 값이 특정 개념을 나타내는 것은 아니고, 단순히 크기가 큰지 작은지에 대해서만 고려하는 지표이다. 또한 그 크기를 비교하는 데 있어서 2배 높다 하여 2배 더 고르게 배치되어 있는 것도 아니다. 즉 9401버스와 9401B버스를 비교할 때, 9401이 0.28, 9401B가 약 3.15이므로 단순히 9401B버스가 9401버

스보다 배치가 더 고르게 되어 있다는 것만을 의미한다.

이와 같은 과정을 광역버스 외에 다른 모든 시내버스에도 적용하여 각 표본 버스의 배치지표 값을 도출하고 이를 평균으로 나타내 비교한다. 요약하면 다음의 표와 같다.

표 13 정류장 배치지표 값 요약

버스 종류	정류장 배치지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	1.641043	
간선버스	3.538051	
지선버스	4.930897	
순환버스	3.036673	
마을버스	8.303728	

그림 4 정류장 배치지표 그래프

정류장 배치는 마을버스가 가장 골고루 잘 배치되어 있는 것으로 나타났다, 그 뒤로 지선, 간선, 순환, 광역버스의 순으로 나타났다. 이러한 순서는 정류장 누적거리, 즉 노선길 이와 많은 연관성이 있는데, 길면 길 수록 정류장 배치가 불균등하다는 것을 말해준다. 또한 정류장 밀도 값이 보이는 경향과 같은 경향성을 보여주고 있다.

광역버스의 경우 특히 낮은 정류장 배치 지표 값을 나타냈는데, 그 이유는 앞서 설명한 것과 같이 고속도로를 경유하는 경우가 많고 고속도로에 정류장이 없기 때문으로 보인다.

다각형 그래프를 보면 정류장 밀도지표와 매우 비슷한 경향을 보이고 있다. 마을버스가 굉장히 높고, 광역버스가 매우 낮은 경향인데, 다른 방식의 접근성 평가로 동일한 경향성을 나타낼 수 있다는 것이 의의가 있다고 본다.

2) 이동성

앞서 이동성 지표는 속도의 개념으로 접근하여, 통행목적지까지 빠르게 가는 것이 이동성이 높은 것이라고 정의하였다. 이동성 지표 역시 그 값이 높으면 높을수록 이동성이 좋은 것으로 본다.

$$I_{mb} = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{t_k + t_k^{wt}}$$

여기서, I_{mb} = 이동성 지표

n = 시내버스 이용객 표본 수

l_k = 이용객 k의 이동거리

t_k = 이용객 k의 이동시간

t_k^{wt} = 이용객 k의 대기시간

이동성을 지표 산출에 필요한 자료는 이용객들의 개별 이동거리와 이동시간, 그리고 대기시간이다. 서울시 시내버스의 경우 시간대별(출퇴근시간대, 일반시간대)로 배차간격이 매우 일정하게 유지되고 있어서, 대기시간은 평균적으로 각 시내버스 일반 시간대 배차간격의 절반 값으로 보고 지표를 설정하였다.

표 14 광역버스 이동성지표

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
9401	10	5	654.0284
9401B	15	7.5	849.8302
9403	11	5.5	432.8425
9404	12	6	905.2433

9408	12	6	345.8333
9409	30	15	625.5383
9503	30	15	536.3004
9701	23	11.5	262.0072
9703	15	7.5	439.3973
9707	10	5	739.6028
9709	30	15	704.1943
9710	15	7.5	627.7315
9711	30	15	622.011
9714	40	20	584.4869
광역버스 이동성지표 평균			594.932

이동성지표는 해당 시내버스의 평균 속력을 나타낸다. 따라서 9401 버스의 이동성 지표가 약 654로 도출되었으니 분당 654m의 속력을 낸다는 것이다.

이와 같은 과정을 광역버스 외에 다른 모든 시내버스에도 적용하여 각 표본 버스의 이동성지표 값을 도출하고 이를 평균으로 나타내 비교한다. 요약하면 다음의 표와 같다.

표 15 이동성지표 값 요약

버스 종류	이동성지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	594.932	
간선버스	269.7579	
지선버스	169.7662	
순환버스	136.4664	
마을버스	88.93527	

그림 5 이동성지표 그래프

시내버스의 속도는 광역버스가 가장 빠르고 그 뒤로 간선버스, 지선버스, 순환버스, 그리고 마을버스의 순으로 속도가 높았다. 간선, 지선, 순환버스는 큰 차이 없는 속도를 나타냈는데, 광역버스와 마을버스는 각각 매우 높고 낮은 속도 값을 나타냈다.

광역버스는 버스정류장이 적고 정차를 덜하면서 서울과 수도권을 급행으로 연결하고 있기 때문에 속도가 빠르게 나타난 것으로 보인다. 간선, 지선, 순환버스는 모두 서울 시내에서 운행되고 있기 때문에 비슷한 속도 값을 나타냈다.

마을버스는 다른 종류의 시내버스보다 다소 낮은 속도 값을 나타냈는데, 이는 노선길이가 짧고 정류장이 많아 정차가 많을 뿐만 아니라 다소 도로상황이 좋지 않거나 지대가 높아지는 구내 도로들을 통행하기 때문으로 보인다.

주목 할 점은 접근성이 높은 시내버스는 이동성이 낮게 나타나는 경향이 있다는 것이다. 이는 접근성이 높을수록 정차가 많은 것이고, 정차가 많으면 많을수록 일정 거리를 가는 시간은 길어질 수밖에 없으니, 속력이 낮게 나타나기 때문이라고 생각된다.

다각형그래프를 보면 광역버스가 거의 이동성 부문에서는 압도적이며, 간선이나 지선버스가 그나마 어느 정도의 속력을 내고 있다는 것을 한 눈에 알 수 있다.

3) 연결성

연결성은 해당 시내버스가 다른 대중교통수단(버스, 지하철)을 얼마나 잘 연결해주는냐에 대한 것이다. 하차한 정류장에서 다른 대중교통을 얼마나 이용할 수 있는지 측정하였다. 따라서 하차정류장에서 연결되는 버스노선의 수와 지하철역의 수를 고려하였는데, 지하철로 환승하는 경우는 하차정류장 근처 도보 5분 거리(약 300m) 이내에 지하철역이 있을 경우만 고려하였다.

$$I_{cn} = \frac{N_{ln} + (\frac{N_{ln}}{N_{bs}} \times N_{sw} \times 12.9)}{N_{bs}}$$

여기서, I_{cn} = 연결성 지표

N_{bs} = 경유 정류장 수

N_{ln} = 경유 정류장 총 노선 수

N_{sw} = 경유 지하철역 수

12.9 = 지하철역 가중치

연결성을 산출하기 위해 필요한 자료는 경유 정류장 수, 경유 정류장 총 노선 수, 경유 지하철역 수이다. 지하철역이 환승역인 경우, 지나가는 노선 수만큼 지하철역을 경유하는 것으로 간주하였다.

표 16 광역버스 연결성지표

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
9401	57	245	3	7.216528
9401B	59	250	3	7.016662
9403	131	380	25	10.04196
9404	106	330	14	8.417408
9408	113	405	28	15.04041
9409	102	409	11	9.588149
9503	111	223	21	6.912077
9701	132	272	28	7.699174
9703	116	237	18	6.132833
9707	75	160	11	6.1696
9709	138	291	21	6.248157

9710	136	289	26	7.365625
9711	83	310	16	13.02279
9714	40	130	10	13.73125
광역버스 연결성지표 평균				8.900187

도출된 연결성 값은 해당 종류의 시내버스를 타서 이동을 한 뒤 정류장에서 하차했을 때 평균적으로 그곳에서 환승할 수 있는 대중교통의 종류의 수라고 말할 수 있다. 즉, 9401버스의 경우 어느 정류장에서 하차했을 때 그 정류장에서 약 7개의 다른 버스로 환승할 수 있다는 의미다.

이와 같은 과정을 광역버스 외에 다른 모든 시내버스에도 적용하여 각 표본 버스의 연결성지표 값을 도출하고 이를 평균으로 나타내 비교한다. 요약하면 다음의 표와 같다.

표 17 연결성지표 값 요약

버스 종류	연결성지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	8.900187	
간선버스	24.03473	
지선버스	14.28566	
순환버스	14.18944	
마을버스	3.813099	

그림 6 연결성지표 그래프

시내버스의 연결성은 간선버스가 가장 높았고 그 뒤로 지선버스와 순환버스가 거의 비슷한 값을 나타냈다. 광역버스와 마을버스는 다소 낮은 지표 값을 보였다. 간선버스의 경우에는 경유하는 버스정류장 총 노선 수와 경유 지하철역이 모두 많았고, 지선버스는 간선버스에 비해 두 항목 다 조금씩 낮았다. 광역버스는 경유 지하철역 수는 지·간선버스와

크게 차이하지 않았으나 경유 버스정류장 총 노선수가 다소 낮았다. 마을버스는 구내 단거리 통행이 목적인만큼, 두 값 모두 다 낮았다.

지선버스의 운행 목적이 간선버스와 지하철역을 연계하는 것에 있는 것에 비해 연결성이 간선버스보다 낮은 것은 다소 의아한 결과였다. 간선버스는 시내를 관통하는 장거리 통행을 하면서 많은 지하철역을 경유하는 반면 지선버스는 권역 내 통행에 집중하기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 보인다.

3. 시내버스 종류별 고유 기능지표 값

5종의 시내버스에 대한 3가지 기능지표 값을 요약하면 다음과 같다. 아래 표는 유효숫자를 3개로 맞춰 나타낸 것이다. 값이 높으면 높을수록 그 기능이 우세하다는 것을 의미한다.

표 18 종류별 시내버스 기능지표 값

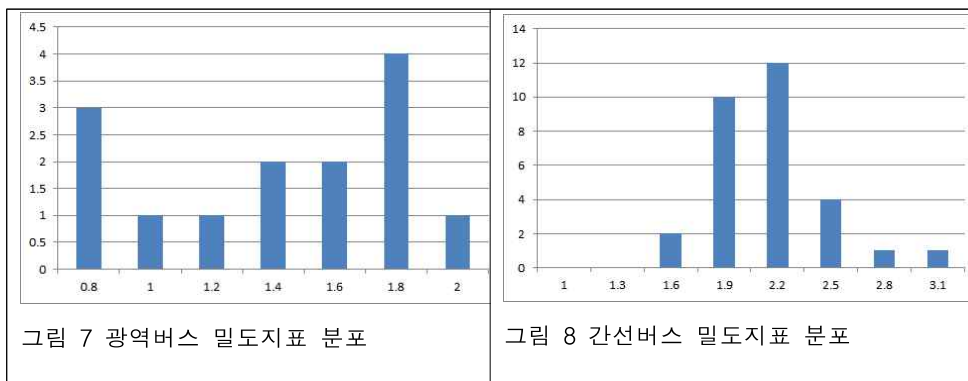
버스 종류	접근성		이동성	연결성
	밀도	배치		
광역버스	1.32	1.64	595	8.90
간선버스	2.00	3.54	270	24.0
지선버스	2.45	4.93	170	14.3
순환버스	1.84	3.04	136	14.2
마을버스	4.25	8.30	88.9	3.81

표본이 많은 대부분의 항목에서 정규분포와 비슷한 형태의 분포를 보이긴 했지만, 모든 항목에서 이를 따르는 것이 아니었다.

간선버스나 지선버스의 경우에는 어느 정도 정규분포와 비슷한 분포를 나타냈으나, 표본이 적은 광역버스와 순환버스의 경우에는 특정 분포라고하기 어려울 만큼 통계적으로 무의미한 결과가 도출되었다. 다음의

표는 이를 단적으로 보여주는 예시로, 간선버스의 밀도지표의 경우 어느 정도 정규분포의 구성을 따르고 있지만, 광역버스의 경우 특정 분포라고 보기 어려운 단순한 수의 나열되는 결과를 낳았다.

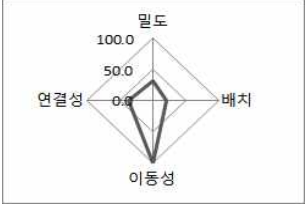
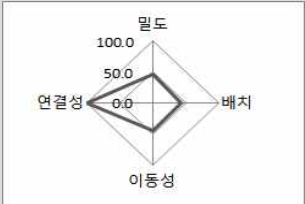
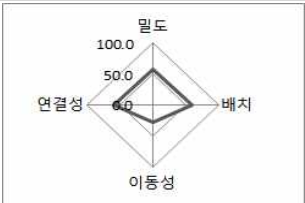
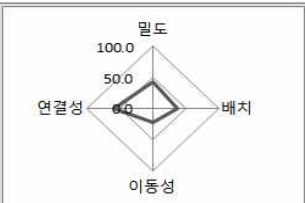
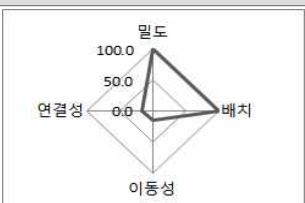
따라서 각 시내버스의 기능지표 값을 대표하는 것은 평균값으로 나타냈다. 광역버스와 같이 표본의 수가 적고 분포가 통계적으로 무의미한 경우가 많았기 때문에 표준화에 의한 일정 범위로 대푯값을 제시하기에는 무리가 있었기 때문이다.



이렇게 나타난 시내버스 5종의 기능지표를 버스 종류별로 분산형 그래프로 나타내보면 해당 종류의 시내버스가 어떤 기능에 초점을 맞추고 운행되고 있는지 한 눈에 알 수 있다. 이 비교는 단위를 일치시키지 않은 단순한 백분위 비교이며, 가장 큰 값을 나타내는 버스의 지표를 100으로 환산하여 그 값들을 비교한 것이다. 정량적인 비교보다는, 시각적으로 한 눈에 다른 버스에 비교해 어떤 기능에 더 초점을 맞추고 있는지에 대한 것이다.

다각형 그래프를 보면 광역버스는 이동성 기능에 초점을, 간선버스는 연결성 기능에 초점을, 지선버스는 접근성과 연결성에 초점을, 순환버스는 모든 기능을 소극적으로 수행하고, 마을버스는 접근성에 초점을 맞춘 버스인 것을 한 눈에 알 수 있다.

표 19 종류별 시내버스 기능지표 평균 값 백분위 환산 및 다각형 그래프

버스 종류	접근성		이동성	연결성	기능지표 그래프
	밀도	배치			
광역버스	31.1	19.8	100.0	37.1	 <p>그림 9 광역버스 기능지표 그래프</p>
간선버스	47.1	42.7	45.4	100.0	 <p>그림 10 간선버스 기능지표 그래프</p>
지선버스	57.6	59.4	28.6	59.6	 <p>그림 11 지선버스 기능지표 그래프</p>
순환버스	43.3	36.6	22.9	59.2	 <p>그림 12 순환버스 기능지표 그래프</p>
마을버스	100.0	100.0	14.9	15.9	 <p>그림 13 마을버스 기능지표 그래프</p>

V 결론

1. 연구의 요약

본 연구는 스마트카드 자료를 활용하여 이용객의 이용 양상을 반영하는 시내버스 기능지표를 개발하고, 이를 통해 현재 역할별로 나누어져 있는 시내버스를 해당 지표로 비교분석하는 것을 목표로 하였다. 또한 개발한 기능지표는 시내버스의 노선평가나 권역·지역별 시내버스 기능을 측정·비교하는 데에도 활용하는 방향에 대해서도 활용할 수 있을 것이라고 예상하였다.

연구는 5종의 서울시 시내버스인 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스, 마을버스에 대해 진행되며, 기능지표는 접근성, 이동성, 연결성의 총 3가지로 정의되었다.

접근성은 통행발생지와 버스 노선과의 이용근접성을 말한다. 정류장 밀도와 정류장 배치의 두 가지 항목으로 나누어 고려하였다.

이동성은 해당 시내버스 이용 시 목적지까지의 이동효율성을 일컫는 말이다. 여기서 이동효율성이란 얼마나 빨리 통행목적지에 도달할 수 있는가를 의미하는 것으로, 이용객의 개별 속도를 고려하였다.

연결성은 환승으로 대표되는 지표로서, 다른 대중교통수단을 연결해주는 가능성을 의미한다. 이때 다른 대중교통수단이란, 택시를 제외한 버스와 지하철로 한정한다. 본 연구에서는 환승을 버스에서 하차한 뒤 하차한 정류장에서 다른 버스를 타거나, 또는 가까운 지하철역까지 도보로 이동한 뒤 지하철을 타는 것이라 정의하였다.

시내버스 종류별로 표본을 추출해 각각의 기능지표 값을 도출하고, 이를 통해 각 시내버스의 기능을 비교·분석 할 수 있었다.

광역버스는 접근성과 연결성이 다소 낮지만 이동성이 매우 높은 장거리 통행 목적의 기능을 담당하고 있다는 결과를 얻을 수 있었고, 이는

실제 광역버스 설계 목적에 어느 정도 부합하는 것으로 볼 수 있다.

간선버스와 지선버스는 다른 기능들보다도 연결성에 특히 초점을 맞추고 있는 것을 알 수 있었다. 서울 시내를 통행하는 만큼 많은 지하철역을 경유하고 있기 때문에 높은 연결성을 보이는 것으로 판단된다.

순환버스는 일정 단거리 구간을 순환하는 특수한 기능을 가지고 있어서 그런지 모든 지표에 대해 낮은 값을 나타냈다.

마을버스는 구내의 단거리 통행을 목적으로 한다. 즉 짧은 거리에 많은 정류장을 두어 주민들의 이동을 편리하게 하는 것이 운행 목적이고, 그 목적에 맞게 다른 종류의 시내버스 보다는 월등히 높은 접근성 값을 나타냈다.

이렇게 각 시내버스의 기능을 설명할 수 있는 기능지표를 통해서 향후 신설노선에 대한 평가나 신설노선의 종류 결정, 그리고 권역별·지역별 시내버스 노선의 비교평가를 할 수 있을 것으로 보인다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구 과제

1) 연구의 한계

이동성의 경우 이용자 개인의 대기시간과 이동시간, 그리고 이동거리를 고려하였기 때문에 스마트카드 자료의 장점인 개개인의 이용 행태를 어느 정도 반영하고 있는 반면, 접근성과 연결성의 경우 개개인의 이용 행태보다는 정류장에 초점을 맞추고 있어 스마트카드 자료의 장점을 극대화하지 못하였다. 또한 연결성을 정의하는 데 있어서 연결되는 버스과 지하철간의 차이는 가중치는 보정을 해 주었으나, 버스노선끼리 환승하는 경우 어떤 종류의 버스노선이 연결되는지에 따른 차이는 반영하지 못하였다.

본 연구에서는 서울특별시의 시내버스만을 대상으로 하였지만 사실 경기도 소속 버스(G-bus)가 서울시를 통행하는 경우가 매우 많고, 특히

광역버스의 경우 그 비중이 매우 큰데 이를 고려하지 못한 점도 연구의 한계라고 생각된다.

또한 도출된 기능지표 값의 표본이 적어 특정 버스의 지표의 경우 각 지표가 어떤 분포를 이루는지를 알기도 쉽지 않았다.

2) 향후 연구 과제

향후 연구에는 앞서 연구의 한계로 지적됐던 문제들을 보완하는 방향의 연구가 진행되어야 한다. 즉 접근성과 연결성에도 스마트카드 자료의 장점인 이용객의 행태를 반영할 수 있도록, 또 연결성에 경유하는 버스 노선의 종류를 반영할 수 있도록 해야 한다.

서울시를 통행하는 경기도 소속 버스까지 연구의 대상으로 포함시킨다면 도출된 기능지표 값이 어떤 분포를 이루는지 정확히 알 수 있을 것이며, 이는 기능지표 값에 신뢰성을 높이는 것으로 향후 연구에서는 반드시 진행되어야 할 것이다.

이런 과정이 이루어지면 시내버스의 고유 기능지표 값을 범위로 제시하거나, 변동성 있는 값으로 제시하는 것이 가능해질 수 있다. 또한 이렇게 개발된 기능지표의 신뢰성이 올라간다면, 신설 버스노선의 기능 적정성 평가나 버스종류 결정, 그리고 권역별·지역별 시내버스 노선 평가에 대한 연구도 진행될 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 김기종·최동호(2004), 시내버스 노선의 비교 평가에 관한 연구, 대한교통학회 학술대회지, 46(19), 1-6.
- 박진영(2006), 대중교통정책수립에 있어서 교통카드 자료 활용방안 연구, 한국교통연구원.
- 신성일(2004), 대중교통 이동성 분석지표 개발, 서울시정개발연구원.
- 신성일·이창주·조용찬(2008), 대중교통 카드 자료를 이용한 지역 간 대중교통 서비스 평가 방안, 교통 기술과 정책, 5(1), 111-127.
- 이상용·정현영(2013), 시내버스 노선별 특성 분석에 기초한 운행 개선 방안 연구, 대한교통학회」, 31(4), 76-84.
- 이상용·박경아(2003), 시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용, 대한교통학회지, 21(4), 29-45.
- 장경욱·김황배·박홍식·박선복(2011), 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 도시 내 지역간 직결노선버스 기종점 선정에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 31(4D), 547-553.
- 서울특별시 교통통계, <http://traffic.seoul.go.kr/archives/300> 에서 2015년 10월 검색
- 서울특별시버스운송사업조합 버스안내, http://www.sbus.or.kr/bus_info/bus_01.htm 에서 2015년 10월 검색
- Florida(2000), Florida's Mobility Performance Measures Program, the Conference on Performance Measures to Improve Transportation Systems and Agency Operations, California.
- Fu Liping, Xin Yaping(2007), A New Performance index for

Evaluating Transit Quality of Service, Journal of Public Transportation, 10(3), 47-69.

Transportation Research Board of the National Academies(2003),
TCRP Report 88: A guidebook for Developing a Transit
performance-Measurement System.

<부록1> 각 시내버스 정류장 밀도지표 결과 값

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
9401	57	72,361	0.7877171
9401B	59	74,742	0.7893821
9403	131	73,903	1.7725938
9404	106	79,012	1.3415684
9408	113	78,964	1.4310319
9409	102	80,212	1.2716302
9503	111	63,647	1.7439942
9701	132	78,497	1.6815929
9703	116	66,503	1.7442822
9707	75	64,543	1.162016
9709	138	75,999	1.8158134
9710	136	86,245	1.576903
9711	83	94,328	0.8799084
9714	40	76,285	0.5243495
광역버스 정류장 밀도지표 평균			1.323056

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
102	69	30985	2.226884
108	164	88542	1.8522283
120	87	33101	2.6283194
144	95	48606	1.9544912
171	84	44817	1.8742888
202	99	43233	2.2899174
240	120	41942	2.8610939
263	64	32249	1.9845577
272	95	46652	2.0363543

273	108	43901	2.4600806
302	113	55458	2.037578
320	79	36049	2.1914616
342	127	59099	2.1489365
360	92	55757	1.650017
401	94	53335	1.7624449
441	90	51183	1.7583963
461	141	64473	2.186962
472	66	39655	1.6643551
500	95	49076	1.9357731
507	100	47323	2.1131374
540	91	52456	1.7347873
571	122	57813	2.110252
602	79	39248	2.0128414
605	99	57996	1.7070143
643	77	45799	1.6812594
673	91	51329	1.7728769
700	93	61856	1.503492
707	95	62896	1.5104299
720	109	48463	2.2491385
753	97	46753	2.0747332
간선버스 정류장 밀도지표 평균			1.999137

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
1113	32	12405	2.579605
1120	54	18388	2.9366978
1137	73	24353	2.9975773
1218	81	30818	2.6283341
1224	86	31276	2.7497122
2013	78	25315	3.0811772
2211	53	17900	2.9608939

2233	119	42643	2.7906104
2412	90	49364	1.823191
3011	81	43294	1.870929
3212	62	25872	2.3964131
3314	52	23719	2.1923353
3414	70	29771	2.3512814
3422	87	39831	2.1842284
4212	71	35180	2.0181922
4318	99	51722	1.9140791
4426	32	10108	3.1658093
4433	32	10595	3.0202926
5413	85	35366	2.4034383
5515	30	10920	2.7472527
5530	112	54721	2.0467462
5627	56	34602	1.6184036
6511	73	26960	2.7077151
6620	60	24866	2.4129333
6631	89	37944	2.3455619
6715	59	28396	2.0777574
7011	79	37396	2.1125254
7021	77	34664	2.2213247
7713	59	23386	2.5228769
7739	48	19108	2.5120368
지선버스 정류장 밀도지표 평균			2.446331

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
02	49	24183	2.0262168
03	23	16038	1.434094
05	22	14273	1.5413718
41	20	11582	1.7268175
61	13	5872	2.2138965

62	10	4790	2.0876827
순환버스 정류장 밀도지표 평균			1.838347

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
강남01	59	14707	4.0116951
강북02	40	12927	3.0942988
강북06	33	12372	2.6673133
강서03	37	11470	3.2258065
관악02	44	11349	3.8769936
광진03	39	11121	3.5068789
구로06	38	10933	3.4757157
금천01	41	10899	3.761813
노원09	73	10859	6.7225343
도봉02	39	10592	3.6820242
동대문02	28	8022	3.4904014
동작01	27	7444	3.6270822
동작14	23	7366	3.1224545
마포02	43	7258	5.9244971
마포03	31	7185	4.3145442
서대문02	32	7153	4.4736474
서대문13	19	6334	2.9996842
서초01	36	6268	5.7434588
서초10	25	5672	4.4076164
서초17	27	5445	4.9586777
성동07	17	5258	3.2331685
성동09	30	5079	5.9066745
성북05	21	4810	4.3659044
성북22	15	4119	3.6416606
양천03	11	3743	2.9388191
영등포02	18	3504	5.1369863
용산01	12	3290	3.6474164

은평06	17	2895	5.8721934
종로09	16	2640	6.0606061
중랑01	11	1949	5.64392
마을버스 정류장 밀도지표 평균			4.25115

<부록2> 각 시내버스 정류장 배치지표 결과 값

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
9401	57	3529.437	0.283331
9401B	59	3466.832	3.155683
9403	131	316.8886	0.69021
9404	106	1448.835	1.253663
9408	113	797.6623	0.627296
9409	102	1594.143	2.346753
9503	111	426.1207	2.45279
9701	132	407.699	2.827371
9703	116	353.6854	0.881532
9707	75	1134.388	3.684446
9709	138	271.4112	3.589225
9710	136	278.6117	0.389793
9711	83	2565.467	0.504054
9714	40	1983.913	0.288448
광역버스 정류장 배치지표 평균			1.641043

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
102	69	206.7697	4.836299
108	164	319.0805	3.134005

120	87	177.8885	5.621498
144	95	338.4204	2.954905
171	84	284.3786	3.516438
202	99	148.9849	6.71209
240	120	245.0325	4.081091
263	64	436.9836	2.288416
272	95	354.6506	2.819676
273	108	200.7748	4.980706
302	113	255.4605	3.9145
320	79	292.6931	3.416548
342	127	184.4585	5.421275
360	92	247.3441	4.04295
401	94	386.6036	2.586629
441	90	305.6686	3.271516
461	141	241.9858	4.132473
472	66	645.2999	1.549667
500	95	231.6046	4.317703
507	100	236.4833	4.228628
540	91	457.7878	2.184418
571	122	431.0355	2.319995
602	79	291.564	3.429778
605	99	278.0323	3.596704
643	77	371.0757	2.694868
673	91	577.6263	1.731223
700	93	411.3133	2.431237
707	95	474.0264	2.109587
720	109	209.502	4.773223
753	97	328.5694	3.043497
간선버스 정류장 배치지표 평균			3.538051

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
-------	----------	--------------------	-------------

1113	32	168.8989	5.920701
1120	54	172.6985	5.790438
1137	73	168.7108	5.927304
1218	81	172.2542	5.805375
1224	86	173.684	5.757582
2013	78	137.0671	7.295695
2211	53	127.4843	7.844101
2233	119	172.9093	5.783377
2412	90	387.8854	2.578081
3011	81	399.76	2.501501
3212	62	468.8521	2.132869
3314	52	181.8595	5.498749
3414	70	147.3389	6.787075
3422	87	210.8351	4.743042
4212	71	172.9473	5.782109
4318	99	235.2234	4.251278
4426	32	196.7987	5.081334
4433	32	258.9546	3.861681
5413	85	172.9473	5.782109
5515	30	199.1938	5.020236
5530	112	266.2447	3.755944
5627	56	539.5436	1.853418
6511	73	170.7086	5.857934
6620	60	213.9052	4.674968
6631	89	227.1027	4.403294
6715	59	572.7353	1.746007
7011	79	253.3073	3.947774
7021	77	201.1933	4.970346
7713	59	184.023	5.434103
7739	48	140.086	7.138474
지선버스 정류장 배치지표 평균			4.930897

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
02	49	492.2813	2.031359
03	23	537.6004	1.860118
05	22	401.0127	2.493687
41	20	297.0891	3.365993
61	13	263.5799	3.793915
62	10	213.9054	4.674965
순환버스 정류장 배치지표 평균			3.036673

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
강남01	59	214.1845	4.668873
강북02	40	90.56098	11.04228
강북06	33	85.17624	11.74036
강서03	37	88.38683	11.3139
관악02	44	152.623	6.552093
광진03	39	160.8146	6.218339
구로06	38	117.2342	8.529934
금천01	41	162.5465	6.152086
노원09	73	170.3101	5.871644
도봉02	39	117.7173	8.494927
동대문02	28	243.3685	4.108995
동작01	27	149.1309	6.705519
동작14	23	216.9383	4.609605
마포02	43	82.9431	12.05646
마포03	31	173.9837	5.747666
서대문02	32	62.27521	16.05775
서대문13	19	114.8305	8.708486
서초01	36	124.1955	8.051824
서초10	25	114.3025	8.748715
서초17	27	170.924	5.850553

성동07	17	264.3487	3.782883
성동09	30	103.0825	9.700968
성북05	21	180.4209	5.542596
성북22	15	127.0107	7.873352
양천03	11	84.98805	11.76636
영등포02	18	102.4442	9.761416
용산01	12	116.4147	8.589978
은평06	17	51.8734	19.2777
종로09	16	219.5283	4.555222
중랑01	11	142.2202	7.031352
마을버스 정류장 배치지표 평균			8.303728

<부록 3> 각 시내버스 이동성지표 결과 값

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
9401	10	5	654.0284
9401B	15	7.5	849.8302
9403	11	5.5	432.8425
9404	12	6	905.2433
9408	12	6	345.8333
9409	30	15	625.5383
9503	30	15	536.3004
9701	23	11.5	262.0072
9703	15	7.5	439.3973
9707	10	5	739.6028
9709	30	15	704.1943
9710	15	7.5	627.7315
9711	30	15	622.011
9714	40	20	584.4869

광역버스 이동성지표 평균	594.932
---------------	---------

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
102	11	5.5	198.1562
108	20	10	263.1078
120	6	3	237.2703
144	8	4	245.6945
171	10	5	221.3378
202	10	5	238.7644
240	12	6	175.9055
263	12	6	123.068
272	6	3	342.0782
273	12	6	187.9675
302	15	7.5	488.6681
320	10	5	223.5642
342	15	7.5	324.3712
360	8	4	482.7082
401	14	7	294.5334
441	9	4.5	233.2093
461	13	6.5	192.0438
472	10	5	289.083
500	11	5.5	319.1192
507	10	5	309.0823
540	12	6	419.8242
571	19	9.5	221.4679
602	8	4	264.8192
605	10	5	280.2772
643	9	4.5	265.7081
673	16	8	258.4031
700	15	7.5	263.4995
707	17	8.5	231.0281

720	10	5	305.4977
753	17	8.5	192.4807
간선버스 이동성지표 평균			269.7579

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
1113	18	9	217.4129
1120	16	8	104.5136
1137	10	5	160.8121
1218	14	7	183.7044
1224	10	5	222.4713
2013	15	7.5	171.402
2211	6	3	182.4777
2233	11	5.5	146.4649
2412	12	6	193.8864
3011	11	5.5	124.372
3212	15	7.5	160.326
3314	10	5	179.5329
3414	14	7	140.9088
3422	16	8	160.35
4212	12	6	159.434
4318	11	5.5	223.0048
4426	16	8	130.7355
4433	11	5.5	172.6413
5413	10	5	255.0657
5515	10	5	143.0397
5530	12	6	196.7093
5627	11	5.5	146.3881
6511	21	10.5	154.3236
6620	16	8	127.3429
6631	10	5	174.2442
6715	17	8.5	193.74

7011	11	5.5	261.5408
7021	10	5	211.7155
7713	14	7	149.2953
7739	20	10	45.13158
지선버스 이동성지표 평균			169.7662

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
02	13	6.5	183.5667
03	22	11	98.66703
05	22	11	125.8385
41	15	7.5	158.0482
61	10	5	121.1077
62	10	5	131.5701
순환버스 이동성지표 평균			136.4664

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
강남01	5	2.5	128.0824
강북02	6	3	69.36471
강북06	5	2.5	81.24407
강서03	15	7.5	86.1372
관악02	6	3	116.3123
광진03	7	3.5	118.4727
구로06	6	3	161.921
금천01	3	1.5	119.2167
노원09	8	4	84.53966
도봉02	5	2.5	180.8116
동대문02	9	4.5	53.82698
동작01	5	2.5	118.0223
동작14	11	5.5	112.1819

마포02	5	2.5	87.92293
마포03	10	5	103.4046
서대문02	6	3	89.83491
서대문13	13	6.5	94.40957
서초01	30	15	17.11614
서초10	10	5	60.19924
서초17	7	3.5	141.1787
성동07	48	24	59.96071
성동09	5	2.5	80.14032
성북05	20	10	41
성북22	12	6	32.70309
양천03	7	3.5	147.981
영등포02	13	6.5	99.66361
용산01	15	7.5	69.25526
은평06	8	4	40.10279
종로09	8	4	82.23674
중랑01	16	8	21.09658
마을버스 이동성지표 평균			88.93527

<부록 4> 각 시내버스 연결성지표 결과 값

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
9401	57	245	3	7.216528
9401B	59	250	3	7.016662
9403	131	380	25	10.04196
9404	106	330	14	8.417408
9408	113	405	28	15.04041
9409	102	409	11	9.588149

9503	111	223	21	6.912077
9701	132	272	28	7.699174
9703	116	237	18	6.132833
9707	75	160	11	6.1696
9709	138	291	21	6.248157
9710	136	289	26	7.365625
9711	83	310	16	13.02279
9714	40	130	10	13.73125
광역버스 연결성지표 평균				8.900187

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
102	69	590	9	22.93825
108	164	835	24	14.70315
120	87	682	15	25.27428
144	95	733	16	24.47936
171	84	720	8	19.10204
202	99	816	21	30.79669
240	120	670	16	15.18667
263	64	361	14	21.55776
272	95	827	18	29.98276
273	108	763	24	27.31728
302	113	401	18	10.84072
320	79	143	16	6.539369
342	127	785	18	17.4823
360	92	853	41	62.57416
401	94	605	18	22.33488
441	90	322	14	10.75719
461	141	871	19	16.9153
472	66	457	11	21.81136
500	95	995	38	64.51789

507	100	806	18	26.77532
540	91	385	12	11.42773
571	122	600	22	16.35851
602	79	617	21	34.59194
605	99	791	32	41.30536
643	77	663	16	31.69071
673	91	491	9	12.27945
700	93	228	17	8.232674
707	95	272	20	10.63889
720	109	957	25	34.7568
753	97	645	24	27.87299
간선버스 연결성지표 평균				24.03473

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
1113	32	145	2	8.18457
1120	54	184	7	9.10535
1137	73	410	7	12.5639
1218	81	395	2	6.429813
1224	86	577	28	34.88837
2013	78	389	11	14.06001
2211	53	138	3	4.50502
2233	119	593	16	13.62631
2412	90	158	5	3.013704
3011	81	476	16	20.85085
3212	62	154	1	3.000676
3314	52	282	3	9.459098
3414	70	485	17	28.6348
3422	87	478	19	20.97289
4212	71	412	20	26.88911
4318	99	662	22	25.85589

4426	32	89	3	6.144824
4433	32	80	6	8.546875
5413	85	565	4	10.68221
5515	30	196	4	17.77067
5530	112	737	17	19.46493
5627	56	237	3	7.156856
6511	73	336	9	11.92299
6620	60	258	10	13.545
6631	89	447	9	11.57426
6715	59	350	6	13.71445
7011	79	237	12	8.878481
7021	77	639	16	30.54353
7713	59	317	7	13.59612
7739	48	266	5	12.98828
지선버스 연결성지표 평균				14.28566

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
02	2	43	23	3.96673
03	4	76	22	11.55702
05	3	78	20	11.4465
41	7	200	49	11.6035
61	4	60	13	22.93491
62	2	66	10	23.628
순환버스 연결성지표 평균				14.18944

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
강남01	33	49	5	4.387052

강북02	30	34	1	1.620667
강북06	36	68	1	2.565741
강서03	73	94	2	1.742766
관악02	39	38	2	1.618935
광진03	41	56	2	2.225342
구로06	27	33	2	2.390123
금천01	28	86	3	7.316582
노원09	37	36	4	2.329876
도봉02	27	62	1	3.393416
동대문02	17	18	3	3.469204
동작01	44	81	5	4.539514
동작14	23	45	2	4.151229
마포02	17	25	2	3.702422
마포03	15	14	4	4.144
서대문02	43	47	6	3.060465
서대문13	31	75	2	4.432882
서초01	32	95	12	17.33008
서초10	38	98	5	6.956371
서초17	40	76	7	6.18925
성동07	11	15	3	6.161157
성동09	16	16	1	1.80625
성북05	10	10	0	1
성북22	12	14	1	2.420833
양천03	59	58	3	1.627866
영등포02	39	45	6	3.443787
용산01	25	24	2	1.95072
은평06	21	20	2	2.122449
종로09	19	25	3	3.995845
중랑01	18	17	2	2.298148
마을버스 연결성지표 평균				3.813099

Abstract

A Study on Functional Index of City Bus Using Smart Card Data: The case of Seoul

Advised by
Prof. Lee, Youngin

December, 2015

Submitted by
Jang, Donguk

Department of Environmental Planning
Graduate School of Environmental Studies
Seoul National University

Buses running in Seoul are divided into red, blue, green, yellow and town bus according to their intended purposes. Red bus rapidly connects Seoul to cities in the capital area, blue bus runs long distance within the city, green bus connects to subways and yellow bus circulates between certain sections and town bus runs short distance within the district.

This study, using smart card data, developed the functional indices through which to compare·analyze city buses currently divided based on their roles. The developed function indices, which are accessibility, mobility, connectivity, were respectively set to measure use proximity, mobile efficiency and transfer possibility.

This study could pull out function indices that show red bus is a bit low in accessibility and connectivity but serves highly mobile long distance transportation purpose. Blue and green bus resulted in high connectivity because they are well connected to subway stations.

Yellow bus, due to its specific function of circulating certain short distance, showed all low values towards the presented indices while village bus showed very high values in accessibility though low in mobility and connectivity.

Comparative analysis through the functional indices showed a direction that most buses serve their original purposes. As their credibility of functional indices go higher in the days coming, it seems that we can either evaluate newly installed lines or comparatively evaluate urban bus lines by the region.

◆ **Keywords : city bus, functional index, smart card, mobility, accessibility, connectivity**

◆ **Student Number : 2014-24021**



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사학위논문

스마트카드 자료를 활용한

시내버스 기능지표 연구

- 서울특별시 시내버스를 대상으로 -

A Study on Functional Index of City Bus
Using Smart Card Data: The case of Seoul

2016년 2월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 교통학전공

장 동 욱

스마트카드 자료를 활용한
 시내버스 기능지표 연구
- 서울특별시 시내버스를 대상으로 -

지도교수 이 영 인

이 논문을 도시계획학 석사학위논문으로 제출함

2015년 10월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과 교통학전공
장 동 욱

장동욱의 석사학위논문을 인준함
2015년 12월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

서울특별시 시내버스는 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스, 그리고 마을버스로 나뉘어 각 목적에 따라 운행되고 있다. 광역버스는 서울과 수도권 도시를 급행으로 연결하고, 간선버스는 시내 먼 거리를 운행하며, 지선버스는 버스과 지하철을 연계하고, 순환버스는 일정 구간을 순환 운행하며, 마을버스는 구내 단거리 통행을 목적으로 한다.

본 연구에서는 스마트카드 자료를 활용하여 이용객의 이용 양상을 반영하는 시내버스 기능지표를 개발하고, 이를 통해 현재 역할별로 나누어져 있는 시내버스를 비교·분석하였다. 개발한 기능지표는 접근성, 이동성, 연결성으로, 각각 이용근접성, 이동효율성, 환승가능성을 측정하는 지표로 설정하였다.

연구 결과 광역버스는 접근성과 연결성이 다소 낮지만 이동성이 매우 높은 장거리 통행 목적의 기능을 담당한다는 것을 기능지표를 통해 할 수 있었다. 간선버스와 지선버스는 지하철역과의 연계가 매우 잘 되어 있으며, 이때문에 높은 연결성을 보이는 결과를 낳았다.

순환버스는 일정 단거리 구간을 순환하는 특수한 기능을 가지고 있기 때문에 제시한 지표에 대해 모두 낮은 값을 나타냈으며, 마을버스는 이동성과 연결성은 낮으나 접근성 부문에서 매우 높은 값을 나타냈다.

기능지표를 통한 비교분석 결과는 대부분 본래 시내버스의 목적에 부합하는 방향으로 도출되었다. 향후 기능지표의 신뢰성이 높아지면 이를 통해 신설노선을 평가하거나, 지역별 시내버스 노선을 비교평가 할 수 있을 것으로 보인다.

주요어 : 시내버스, 기능지표, 스마트카드, 접근성, 이동성, 연결성

학 번 : 2014-24021

<목 차>

I 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위	2
3. 연구의 방법	3
II 선행연구 고찰	5
1. 국내문헌 고찰	5
2. 국외문헌 고찰	7
3. 시사점	7
III 기능지표 개발	9
1. 스마트카드 자료의 내용 및 특성	9
1) 자료의 장점	9
2) 자료의 내용	10
3) 사용할 스마트카드 자료 정보	13
2. 기능지표 정의	13
1) 접근성	14
2) 이동성	17
3) 연결성	18
IV 시내버스 기능지표 비교·분석	21
1. 연구 대상 시내버스	21
1) 서울특별시 버스의 종류	21
2) 연구 대상	22
2. 시내버스 기능지표 값 산출 및 분석	24
1) 접근성	24

2) 이동성	30
3) 연결성	32
3. 시내버스 종류별 고유 기능지표 값	35

V 결론 38

1. 연구의 요약	38
2. 연구의 한계 및 향후 연구 과제	39
1) 연구의 한계	39
2) 향후 연구 과제	40

■ 참고문헌 41

부록 1 각 시내버스 정류장 밀도지표 결과 값	43
부록 2 각 시내버스 정류장 배치지표 결과 값	47
부록 3 각 시내버스 정류장 이동성지표 결과 값	51
부록 4 각 시내버스 정류장 연결성지표 결과 값	55

<표 차례>

표 1 신성일 외(2008) 연구 정리 인용	6
표 2 스마트카드 자료의 장점	9
표 3 스마트카드 자료 수록 정보	11
표 4 스마트카드자료 카드 정보	11
표 5 스마트카드 자료 정류장 정보	11
표 6 스마트카드 자료 수집 가능한 교통 지표	12
표 7 접근성 도식화	15
표 8 연결성 도식화	18
표 9 연구 대상 시내버스 표본	23
표 10 광역버스 정류장 밀도지표	25
표 11 정류장 밀도지표 값 요약	26
표 12 광역버스 정류장 배치지표	28
표 13 정류장 배치지표 값 요약	29
표 14 광역버스 이동성지표	30
표 15 이동성지표 값 요약	31
표 16 광역버스 연결성지표	33
표 17 연결성지표 값 요약	34
표 18 종류별 시내버스 기능지표 값	35
표 19 종류별 시내버스 기능지표 평균 값 백분위 환산 및 다각형 그래프	36

〈그림 차례〉

그림 1 연구흐름도	4
그림 2 서울특별시 권역	22
그림 3 정류장 밀도지표 그래프	26
그림 4 정류장 배치지표 그래프	29
그림 5 이동성지표 그래프	31
그림 6 연결성지표 그래프	34
그림 7 광역버스 밀도지표 분포	36
그림 8 간선버스 밀도지표 분포	36
그림 9 광역버스 기능지표 그래프	37
그림 10 간선버스 기능지표 그래프	37
그림 11 지선버스 기능지표 그래프	37
그림 12 순환버스 기능지표 그래프	37
그림 13 마을버스 기능지표 그래프	37

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2015년 현재 서울시 버스 노선은 크게 광역, 간선, 지선, 순환, 그리고 마을버스로 나뉘어 구성되어 있다. 각 버스는 역할별로 그 기능에 따라 나누어져 있는 것으로, 교통수요자의 통행목적에 부합하며 운행하는 것을 그 목적으로 한다. 서울특별시버스운송사업조합¹⁾에 따르면, 마을버스를 제외한 서울 시내를 운행하는 버스의 기능은 다음과 같다. 먼저 서울과 수도권 도시를 급행으로 연결하는 광역버스, 서울 시내 먼 거리를 운행하는 간선버스, 간선버스와 지하철을 연계하면서 지역 내를 통행하는 지선버스, 그리고 도심과 부도심 내에서 단거리를 순환 운행하는 순환버스이다. 그리고 마을버스는 각 구에서 운행되며, 운행되는 구(區) 내의 단거리 통행을 목적으로 한다.

2014년 3월 기준 서울의 시내버스 노선의 수는 광역버스 11개, 간선버스 122개, 지선버스 214개, 순환버스 4개, 마을버스 235개로 총 586개 노선과 6,058개 정류장에 대해 시내버스 및 마을버스를 운행 중이다. 버스 이용객수는 2012년 기준 시내버스와 마을버스 합쳐 하루 평균 5,730,000명으로 서울시 인구의 반이 넘는 수치를 기록하고 있다.²⁾ 많은 서울 시민이 버스를 이용하는 만큼, 버스의 기능이 각 역할별로 구분되어 있는 것은 수많은 이용객들에게 의미를 지니는 것이며, 이것이 적절하게 되어 있어야 한다는 것은 당연하다.

우리나라에서는 시내버스 노선에 대한 적정성 평가를 진행하거나 범용 가능한 이동지표를 설정하는 연구(이상용 외, 2003; 윤혁렬, 2004; 신

1) <http://www.sbus.or.kr>

2) 서울특별시 교통통계 - 버스 (<http://traffic.seoul.go.kr/archives/300>)

성일;2004) 등이 진행되어 노선체계를 개편하거나 효과성을 높이기 위한 방안으로 사용되어왔다. 이러한 연구에서는 다양한 지표들을 활용하여 연구 당시 시내버스 노선체계에 대해 평가하고 지표상 부족한 점을 보완하기 위해 노선 체계를 변경하거나 질적 변경을 하여야 한다는 방향으로 진행되었다.

하지만 역할별로 그 기능이 나뉘어져 있는 시내버스를 서로 비교하여 평가한 연구는 아직까지는 미흡하다고 할 수 있다. 하나의 특정 시내버스에 대한 연구들, 특히 간선버스(한진석 외, 2009)에 대한 연구들만 몇몇 존재할 뿐이었다.

2004년 서울시 대중교통체계가 대폭 개편되면서 수집되는 스마트카드 자료는 개개인의 통행, 그 수단, 환승 정보 등을 모두 포함하고 있어 개개인의 통행 특성을 정확하게 파악 할 수 있다. 이를 이용한다면 실제 이용 양상을 반영한 효과적인 지표를 만들 수 있을 뿐만 아니라 정확성, 정시성, 확장성 등을 모두 갖춘 연구가 가능하다. 대중교통 카드자료를 활용한 연구 중에서는 지역 간 대중교통 서비스를 평가하는 방향의 연구가 여러 번 진행되었다. (신성일 외, 2008; 최명훈, 2010 등)

이에 본 연구에서는 스마트카드 자료를 활용하여 이용객의 이용 양상을 반영하는 시내버스 기능지표를 개발하고, 이를 통해 현재 역할별로 나뉘어져 있는 시내버스를 해당 지표로 비교분석하는 것을 목표로 한다. 개발한 기능지표는 시내버스의 노선평가나 권역·지역별 시내버스 기능을 측정·비교하는 데에도 활용하는 방향에 대해서도 활용할 수 있을 것이다.

2. 연구의 범위

본 연구의 주된 분석 도구로 활용될 스마트카드 자료의 특성에 따라 분석 대상, 공간범위, 그리고 시간범위를 설정하였다. 먼저 분석 대상은 서울특별시 소속으로 분류된 버스노선과 서울특별시 소속 구(區)를 통행

하는 마을버스를 포함한다. 앞서 언급했던 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스, 그리고 마을버스가 그 대상이 된다.

공간범위는 대상 버스가 그 노선으로서 통행하고 있는 서울특별시 및 수도권 권역으로 설정하였다. 여기서 수도권 권역은 서울 주변을 둘러싸고 있는 경기도 일대(의정부, 구리, 하남, 성남, 수원, 인천, 고양 등)를 의미한다. 또한 스마트카드 자료의 기록 날짜인 2013년 5월 22일 수요일을 연구의 시간범위로 설정하였다.

3. 연구의 방법

본 연구는 2013년 5월 22일 스마트카드 자료를 이용하여 시내버스의 기능을 반영할 수 있는 기능지표를 개발하고 이를 통해 역할별로 나누어져 있는 시내버스를 분석 및 설명하는 것이 목적이다. 기존에 진행되었던 연구들 중 시내버스를 평가하기 위한 지표에 대한 연구들은 먼저 버스의 운행을 평가하기 위한 각종 지표들에 대한 선행 연구들을 고찰하고, 이것을 바탕으로 고유한 기능지표를 개발하였다. 그리고 각 역할별 시내버스의 지표 값을 산출하고, 이를 토대로 각 시내버스만의 고유한 지표 값을 도출하였다.

선행 연구 고찰 부분에서는 크게 버스의 평가지표에 대한 연구들과 스마트카드 자료를 활용한 대중교통 연구를 살펴본다. 기존에 버스 노선 체계 전체를 평가하기 위한 평가지표 개발이 많이 이루어져 왔는데, 이 평가지표는 버스가 갖추어야 할 특징을 반영하여 만든 것이기 때문에 버스의 기능과 관련성이 높다고 할 수 있다. 또한 스마트카드 자료를 활용한 연구들은 스마트카드 자료만의 장점인 신뢰성, 정시성 등을 잘 활용한 경우가 많아 이를 고찰하여 스마트카드 자료 연구의 당위성을 높였다.

기능지표를 개발하는 부분에서는 크게 3가지 지표를 설정한다. 선행 연구를 참고하여 시내버스가 가져야 할 공간적, 시간적, 그리고 환승의

기능을 각각 접근성, 이동성, 연결성으로 설정하여 기능지표를 통해 시내버스의 기능을 설명하려는 것이다.

분석 단계에서는 스마트카드 자료를 활용하여 각 시내버스에 대응되는 기능지표 값을 도출한다. 이 기능지표 값은 각 시내버스의 여러 표본을 대상으로 도출될 것이며, 이를 토대로 특정 시내버스만의 고유한 지표 값을 정의하는 단계로 연구를 진행한다.

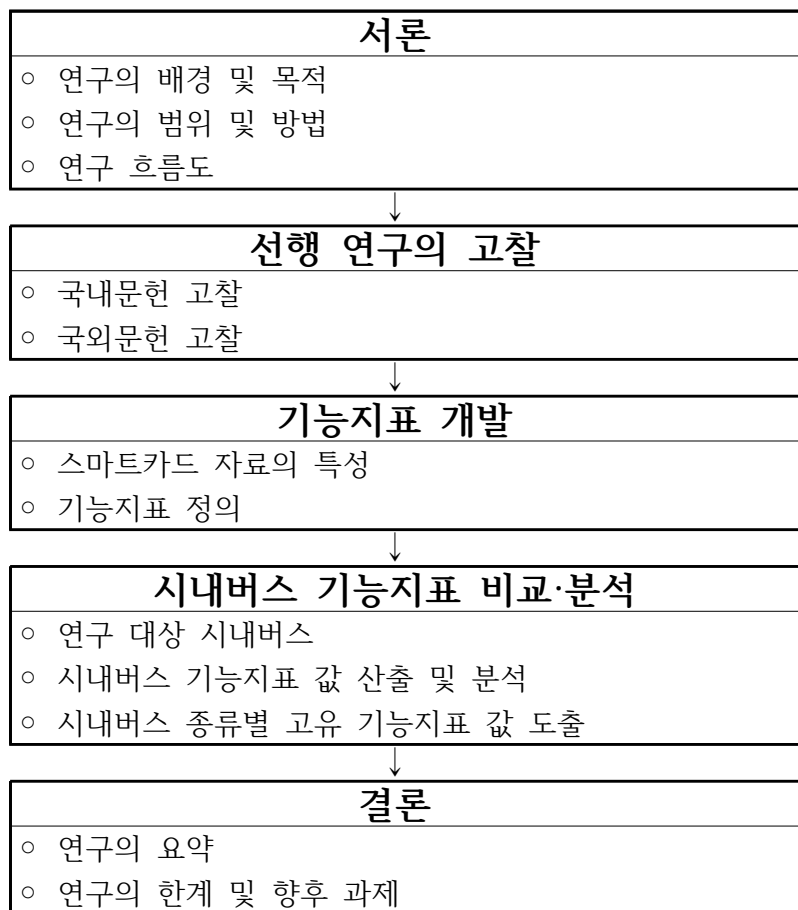


그림 1 연구흐름도

II 선행연구 고찰

1. 국내문헌 고찰

이상용 외(2003)는 시내버스 노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용에서 이용자, 운영자, 사회적 관점에서 각각의 평가지표를 정의하고 이를 토대로 경기도 시흥시 버스노선체계를 평가하여 대안을 제시하는 연구를 진행하였다. 이용자 관점에서의 평가지표는 접근성, 승차안락성, 환승률로 구성되었다. 이때 접근성(Accessibility)이란 버스서비스가 실제로 버스이용자들에게 얼마나 근접해 있는가를 평가하기 위한 것으로, 교통존(traffic zone) 별로 이용 가능한 버스정류장 밀도의 평균치를 접근성의 지표로 간주한다. 정류장 밀도는 면적대비 밀도와 인구대비 밀도로 구분하여 이를 평균한 값을 사용하였다. 환승률(Transfer Rate) 개념은 버스에서의 버스로의 환승만을 고려한 것으로, EMME/2 시스템의 로직에 의거하여 총 수단통행에 대한 환승통행의 비로 정의된다. 이 외에도 노선의 직결도(Ratio Directness)를 운영자관점에서의 평가지표로서 다루고 있는데, 이는 차내 통행시간과 연관되어 있는 것으로, 이용자관점에서의 평가지표로 볼 수도 있을 것이다. 직결도는 “1/굴곡도”로 산출되며, 직결도가 높을수록(단, 1.00보다 작은 값) 보다 빠르게 목적지까지 도달할 수 있다는 것을 의미한다.

서울시는 2004년 지·간선 노선체계를 정립하는 등의 대중교통체계를 개편하였는데, 이 개편에 활용된 각종 평가지표들 중 본 연구와 연관성 있는 것들을 살펴보면 이용자측면의 신속성, 접근성, 편리성이다. 신속성은 1인당 대중교통에 의한 통행시간을 의미하며, 접근성은 시가화 면적 대비 대중교통역세권 면적을, 그리고 편리성이란 환승횟수, 제공노선 수를 반영한 개념으로 이해하고 있다.

신성일(2004)의 대중교통 분석지표 개발에서는 공통적인 대중교통

분석지표를 개발하면서 대중교통 분석의 기준을 승용차의 통행시간으로 놓고 연구를 진행하였다. 정의하고 있는 지표는 총 3가지이며, 이중 본 연구와 관련 있는 지표 1과 2를 살펴보면 다음과 같다. 지표1은 대중교통시설 간의 이동성을 의미하는 것으로, 승용차의 최단통행시간 대비 대중교통의 최단통행시간을 나타낸 것이다. 지표2는 접근성을 포함한 분석 지표로서, 출발지에서 대중교통시설까지의 접근통행시간 개념을 추가한 것을 의미한다. 이때 대중교통의 최단통행시간은 출발지까지의 보행시간을 추가로 고려하여 나타낸다.

그 후 신성일 외(2008)는 대중교통 카드자료를 이용한 지역 간 대중교통 서비스 평가 방안에서 카드 자료를 통해 도출 가능한 대중교통 평가지표를 다음과 같이 구축하였다.

표 1 신성일 외(2008) 연구 정리 인용

서비스지표	지표 산출	비고
평균 통행시간	○	대중교통카드
평균 통행속도	○	정류장 위치자료 및 대중교통카드
총 환승횟수	○	대중교통카드
평균 환승시간	○	대중교통카드
승용차대비 통행시간	△	승용차 통행시간 고려 필요
평균 승차요금	○	대중교통카드
혼잡도	△	탑승인원 고려 가능
정류장 접근시간	△	대중교통 이동성 지표 활용
지역간 통행특성	○	정류장 위치자료 및 대중교통자료
○ : 도출 가능 △ : 향후 도출 가능		

장경옥 외(2011)은 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 도시 내 지역 간 직결노선버스 기종점 선정에 관한 연구에서 기존의 연구들을 정리하면서 이동성 지표는 크게 ‘얼마나 빠르게 이동하는가’, ‘얼마나 접근하기 쉬운가’, 그리고 ‘얼마나 편안한가’로 구분하여 분석하였다. 이를 토대로 직결노선 구축 시 통행시간 측면에서 대중교통의 경쟁력 확보 문제

인 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 지역 간 직결노선의 기종점 선정문제를 다루고 있다. 이때 이동성은 승용차 통행시간 대비 대중교통 통행시간을 의미한다.

2. 국외문헌 고찰

미국 플로리다 주(Florida, 2000)에서는 대중교통 이동성 지표를 개발하는 연구를 진행하면서 접근성(Accessibility)라는 이동성의 한 부분을 정의하였다. 접근성에는 환승시설로의 연결성(Connectivity to intermodal facilities), 주거 근접성(Dwelling unit proximity), 직장 근접성(Employment proximity), 산업/공장시설 근접성(industrial/warehouse facility proximity)을 포함한다.

미국교통연구위원회(Transportation Research board, 2003)에서는 대중교통 평가 항목으로 통행시간(Travel time)을 설정하면서 이를 다른 수단, 특히 승용차의 통행시간 대비 대중교통 통행시간 비율로 정의하였다.

Liping Fu et al.(2007)은 TSI(Transit Service indicator)라는 개념을 도입하면서 승용차와 대중교통의 통행시간과 보행시간 비율을 대중교통 평가지표로 사용하였고, 이를 통해 여러 수단을 이용하는 이용객에 대한 지표 값을 산출하였다.

3. 시사점

대중교통에 대한 많은 선행연구들에서 공통적으로 평가하고 있는 사항들은 매우 많지만, 이용자의 주관성이나 사회적 형평성과 같은 요소들을 배제한 물리적인 기준들만 살펴보면 중요한 수 개의 지표를 추려낼 수 있다. 바로 대중교통과의 접근성, 대중교통 자체의 이동성, 그리고 다른 대중교통과의 연계성이다.

또한 최근에 들어오면서 하나의 지표로 모든 것을 평가하기보다는 세부적인 지표를 설정하거나 하위지표를 만들어서 대중교통을 보다 효과적으로 평가하려는 시도가 이루어지고 있다.

본 연구는 이를 활용하여 대중교통의 기능을 나타내는 지표를 만들고 이를 토대로 현재 운행되는 시내버스의 기능을 비교해보는 과정의 연구를 진행한다.

Ⅲ 기능지표 개발

1. 스마트카드 자료의 내용 및 특성

연구에서 활용한 스마트카드 자료는 서울시 시내버스 카드 단말기에 태그하여 사용할 수 있는 선불교통카드(티머니, T-money) 자료를 수집한 것이다.

1) 자료의 장점

2004년 서울시 대중교통 개편과 함께 도입된 교통카드는 그 이용 정보가 전산과정을 통해 이루어지므로 사람이 조사하는 방식에 비해 정확성이 높다고 할 수 있다. 또한, 교통카드의 이용은 1년 365일 24시간 수도권 어느 지역에서나 이용 가능하기 때문에 시간별, 일별, 요일별, 계절별 등 전 시간대 및 전 지역에 걸친 자료습득이 가능하며, 설문조사와 같은 직접조사가 아닌 이미 구축되어 있는 카드시스템을 사용하므로 비용면에서도 저렴하다. 현재 점차 교통카드 이용비율이 높아지는 추세로 향후 전수조사에 가까운 자료의 습득이 가능할 것으로 판단되며, 지역 간/기관 간 교통카드 정보의 통일화 작업을 통해 전국 단위 대중교통 이용패턴 분석이 가능할 것으로 판단된다.³⁾

표 2 스마트카드 자료의 장점

장점	내용
정확성	수집 자료의 정확성 및 신뢰성 증대
경제성	조사비용의 획기적 절감
지역성	모든 시간대 및 광범위한 지역에 걸친 자료 취득 가능
단축성	실시간 자료구축 또는 자료취득 시간의 단축

3) 박진영(2006), 대중교통정책수립에 있어서 교통카드 자료 활용방안 연구, 한국교통연구원

활용성	통행목적 파악을 위한 자료의 활용가능성 증대
확장성	방대한 자료 수집 가능 및 향후 정보 확장 가능
안전성	안전사고 및 돌발상황 예방
범용성	다양한 목적으로의 교통카드 사용 가능

2) 자료의 내용

(1) 스마트카드 자료 수록 정보

사용한 스마트카드 자료는 이용객이 태그한 카드에 가상번호를 부여하여 나열한 것으로, 사용한 교통수단, 노선정보, 운수회사정보, 차량정보, 승·하차 시간, 승·하차 정류장 정보, 이용자그룹정보, 이용인원, 승·하차 요금 정보를 알 수 있다.

표 3 스마트카드 자료 수록 정보

항목	가용성	항목	가용성
가상카드번호	○	이용자그룹	○
교통수단분류	○	인원	○
트랜잭션ID	○	승차요금	○
노선ID	○	하차요금	○
노선명	X	승차위반요금	X
운수회사코드	○	하차위반요금	X
운수회사명	X	총 이용거리	X
차량ID	○	총이용시간	X
차량번호	X	지역코드	○
운행시작시간	X	일반승차가운터	○
운행종료시간	X	학생승차카운터	○
승차시간	○	어린이승차카운터	○
승차정류장ID	○	기타승차카운터	○
승차정류장명	X	타임코드	○
하차시간	○	이용일	○

하차정류장ID	○	승차일	○
하차정류장명	X	승차시간	○
환승횟수	○	하차일	○
이용자구분코드	○	하차시간	○

(2) 스마트카드 자료 예시

① 카드 정보

표 4 스마트카드자료 카드 정보

가상카드 번호	교통수단 분류	트랜잭션 ID	노선ID	운수회사 코드	차량ID	승차시간	승차정류 장ID
423834	9	92	2000000 0	2111000 00		2013052 2140040	1901
423836	4	96	1111069 6	1115013 70	1117551 32	2013052 2201538	9008732
423836	6	95	1111035 4	1110045 00	1117445 06	2013052 2174005	9002069
하차시간	하차정류 장ID	환승 횟수	이용자구 분코드	이용자 그룹	인원	승차요금	하차요금
2013052 2142225	1906	0	1	일반	1	1050	0
2013052 2203006	9008081	0	1	일반	1	750	0
2013052 2174031	9002069	3	1	일반	1	0	0
지역코드	일반승차 카운터	타임코드	이용일	승차일	승차시간	하차일	하차시간
1100000 000	1	14	1	2013052 2	140040	2013052 2	142225
1100000 000	1	20	1	2013052 2	201538	2013052 2	203006
1100000 000	1	17	1	2013052 2	174005	2013052 2	174031

② 정류장 정보

표 5 스마트카드 자료 정류장 정보

구분	역코드	전수화존	역명	행정동코드
KSCC정류장	1	1117005	한진아파트(기점)	1117065
KSCC정류장	2	1117005	국민은행.개봉전화국	1117065
KSCC정류장	15	3106001	남부주유소	3106055

③ 수집 가능한 교통 지표⁴⁾

한국교통연구원(2006)에서는 스마트카드 자료를 통하여 산출 가능한 지표를 제시하여 이를 활용할 수 있도록 하였다. 크게 통행요소, 운임수입, 환승, 기종점통행량이라는 네 부문으로 나누어 각각의 부문에 맞는 지표를 산출하는 방법을 제시했다.

표 6 스마트카드 자료 수집 가능한 교통 지표

구분	지표	산출방법
통행 요소	정류장별 이용승객	정류장별 승차인원 및 하차인원 수
	노선별, 수단별 이용승객	노선별, 수단별 승차인원 및 하차인원 수
	승객유형별 이용횟수	승객유형별 승차인원 및 하차인원
	차량1대당 운송실적	총 승차인원/차량대수
	차량별 평균재차인원	구간별 재차인원의 합/구간수
	1인당 평균 통행시간	승차시간과 하차시간의 차이의 평균
	1인당 평균 통행거리	승차지역과 하차지역간 거리의 평균
	1인당 평균 통행횟수	총통행수/이용자수
	수단별 평균 이용시간	각 수단별 평균 이용시간
운임 수입	혼잡율	현재승차인원+승차인원-하차인원
	1인당 평균 요금	지불요금의 평균
	차량 한 대당 운임수입	운임수입의 합
환승	노선별 운임수입	노선별 총 운임수입
	평균 환승 횟수	통행수의 합/총 이용자 수
	평균 환승소요시간	이전수단 하차시간과 환승한 수단의 승차시간 차이의 평균
기종점 통행량	평균 환승이용요금	환승이 발생한 경우의 총 지불요금의 평균
	기종점통행량	승차 및 하차지역의 통행 쌍

4) 박진영(2006), 대중교통정책수립에 있어서 교통카드 자료 활용방안 연구, 한국교통연구원

3) 사용할 스마트카드 자료 정보

스마트카드 자료 정보 중 본 연구에 사용된 항목은 다음과 같다; 이용노선ID, 승·하차 정류장 ID, 승·하차 정류장 누적거리, 승·하차 시간, 정류장 수.

2. 기능지표 정의

스마트카드 자료를 활용하여 시내버스를 각 역할별로 구분할 수 있는 기능지표를 개발하고 이를 통하여 시내버스 별로 고유의 지표 값을 도출하는 것이 연구의 목적이므로, 지표를 어떻게 정의할 것인지가 가장 먼저 결정되어야 한다. 대중교통에 대한 많은 선행연구들에서 공통적으로 평가하고 있는 사항들은 매우 많지만, 이용자의 주관성이나 사회적 형평성과 같은 요소들을 배제한 물리적인 기준들만 살펴보면 중요한 수개의 지표를 추려낼 수 있다. 바로 대중교통과의 접근성, 대중교통 자체의 이동성, 그리고 다른 대중교통과의 연계성이다.

선행연구들의 평가지표들을 참고하여 크게 3가지 기능지표를 설정하고 이를 토대로 시내버스의 역할을 정량적인 수치로 비교·분석하였다. 설정한 지표는 접근성, 이동성, 그리고 연결성으로 지칭하였다. 이는 위에서 언급한 3가지 기준인 대중교통과의 접근성, 대중교통 자체의 이동성, 그리고 다른 대중교통과의 연계성을 대표하는 지표이다.

많은 선행연구에서 환승에 관련된 항목들을 접근성이나 이동성의 하위지표로 활용하고 있는데, 이는 접근성과 이동성의 개념을 포괄적으로 정의하였기 때문인 것으로 본다. 본 연구에서는 접근성과 이동성이 각각 근접성과 속도를 의미하는 협의의 개념으로 정의할 것이므로, 환승과 관련된 것은 별도의 연결성 지표로 나타낸다.

$$F_{bs} = f(I_{ac}, I_{mb}, I_{cn})$$

여기서, F_{bs} = 시내버스의 기능
 I_{ac} = 접근성 지표
 I_{mb} = 이동성 지표
 I_{cn} = 연결성 지표

각 지표는 그 값이 클수록 그 기능 수행력이 높음을 의미하도록 설계하였고, 이 세 가지 지표를 통해 시내버스의 기능을 역할별로 비교할 수 있다. 결론적으로 기능지표를 풀어쓰면, 접근성, 이동성, 그리고 연결성이 높을수록 그 시내버스는 정류장이 많고 고르며, 구간속도가 빠르고, 연결되는 환승노선이 많다는 의미가 된다.

1) 접근성

접근성은 통행발생지와 버스 노선과의 이용근접성을 말한다. 버스 이용객이 버스를 이용하는 장소는 버스 정류장이므로, 이용근접성은 버스 정류장과 관련된 개념으로 이해할 수 있다. 버스 정류장이 많으면 많을수록, 당연히 이용근접성은 높다고 할 수 있다. 하지만 단순히 수가 많다고 하여 접근성이 높다고 볼 수는 없고, 시내버스 노선 길이에 비해 얼마나 많은지, 그리고 골고루 배치되어 있는지가 고려되어야 한다.



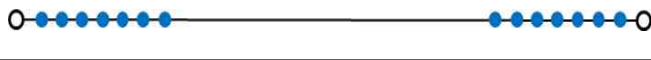
이때 골고루 배치되어 있는가에 대한 여부는 이용자가 어디서든 특정 버스를 이용 가능한지 알아보는 매우 간단한 방법의 수학적 계산을 의미한다. 각 버스의 수요 또는 목적에 따라 고유의 경유·비경유 정류장이 존재할 것이고, 이러한 정류장 배치를 수치화 하여 접근성으로 표현하였다.

본 연구에서의 접근성은 시내버스 노선의 접근성을 서로 비교하는데 초점을 맞추었기 때문에 이용객 개개인의 통행발생지와 버스정류장

간의 거리를 고려해서 접근성 지표를 정의하지는 않았다. 즉, 각 종류의 시내버스를 이용하는 이용객 개개인의 통행발생지와 버스정류장 사이의 평균 거리는 모두 일정하다고 가정한다. 하지만 보다 정교한 연구를 위해서라면, 향후 이러한 고려는 필요하다고 생각한다.

앞서 말했듯 개별 시내버스의 접근성을 정의하는 것은 경유하는 버스정류장의 수가 기준이 된다. 그 개수는 노선 길이 대비 버스정류장의 수가 중요하고, 정류장의 배치는 한쪽에 치우치지 않고 골고루 되어 있어야 접근성이 높다고 간주하였다. 이를 도식으로 표현하면 다음과 같다.

표 7 접근성 도식화

접근성 정도	도 식	정류장 수
낮은 접근성		8
높은 접근성		16
낮은 접근성		16

노선길이 대비 버스정류장 수는 경유하는 정류장 개수를 총 이동거리로 나눈 값으로 적용한다. 개념적으로 보면 버스 정류장 개수의 밀도라고 할 수 있다. 정류장의 배치는 정류장간 거리의 표준편차를 이용해서 구하였다. 정류장이 고르게 배치되어 있다면 표준편차 값은 작을 것이고, 어느 한 쪽으로 치우쳐 있다면 그 반대의 결과를 가질 것이다. 전체적으로 지표의 설계를 그 값이 클수록 수행력이 높도록 설계하였으므로, 표준편차의 역수를 활용한다. 이로써 도출되는 값은 숫자 자체에 의미가 있는 값이 아니고, 단순히 크기의 상대적인 비교만이 가능할 뿐인 것이다.

정류장 밀도와 배치의 두 개념을 하나의 식으로 합치는 것은 결코 쉬운 작업이 아니다. 첫 번째 정류장 밀도 개념의 단위는 개/km(혹은

m)이고, 두 번째 정류장 배치 개념의 단위는 km(혹은 m)이기 때문이다.
따라서 이를 두 가지 항목으로 나누어 생각하기로 한다.

$$I_{ac} = f(D_{bs}, A_{bs})$$

여기서, I_{ac} = 접근성 지표
 D_{bs} = 버스정류장 밀도
 A_{bs} = 버스정류장 배치

(1) 버스정류장의 밀도

$$D_{bs} = \frac{N_{bs}}{L_{rt}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수
 L_{rt} = 노선길이

(2) 버스정류장의 배치

$$A_{bs} = \frac{1,000}{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_{bs}} (s_k - m_s)^2}{N_{bs}}}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수
 s_k = k번째 정류장과 다음 정류장 사이의 거리
 m_s = s_k 의 평균

1,000 = 크기를 맞추기 위한 상수

2) 이동성

이동성은 해당 시내버스 이용 시 목적지까지의 이동효율성을 일컫는 말이다. 여기서 이동효율성이란 얼마나 빨리 통행목적지에 도달할 수 있는가를 의미하는 것으로, 속도의 개념과 비슷하다. 스마트카드 자료는 이용객 개개인의 승·하차 시간을 알 수 있으므로, 개개인이 얼마나 빠르게 목적지에 도달하였는지를 알 수 있다.

하지만 대중교통은 일반 승용차와 다르게 대기시간이라는 것이 존재한다. 이때 대기시간이란 버스정류장에서 자신이 원하는 시내버스를 기다리는 시간을 의미한다. 접근성 지표를 통해 버스정류장까지의 이용근접성을 판단하였으니, 버스정류장에서 대중교통까지의 또 다른 이용근접성을 고려해야 한다. 단순히 차내시간만 이동시간이 아니라, 차외시간까지 이동시간으로 포함시켜야 한다는 것이다.

서울시 시내버스의 경우 시간대별(출·퇴근 시간대와 일반시간대)로 배차간격이 매우 일정하게 유지되고 있다. 따라서 대기시간은 각 시내버스 일반 시간대 배차간격의 절반 값으로 보고 지표를 설정하였다.

$$I_{mb} = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{t_k + t_k^{wt}}$$

여기서, I_{mb} = 이동성 지표

n = 시내버스 이용객 표본 수

l_k = 이용객 k의 이동거리

t_k = 이용객 k의 차내시간

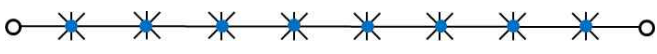

t_k^{wt} = 이용객 k의 대기시간(차외시간)

3) 연결성

연결성은 환승으로 대표되는 지표로서, 다른 대중교통수단을 연결해주는 가능성을 의미한다. 이때 다른 대중교통수단이란, 택시를 제외한 버스와 지하철로 한정한다. 본 연구에서는 환승의 개념을 이용한 시내버스에서 하차한 뒤 하차한 정류장에서 다른 시내버스를 타거나, 또는 가까운 지하철역까지 도보로 이동한 뒤 지하철을 타는 것이라 정의하고 연구를 진행하였다. 편의상 전자를 버스-버스 환승, 후자를 버스-지하철 환승이라 칭한다.

이러한 정의 하에서, 버스-버스 환승의 경우 하차한 버스정류장에 많은 시내버스 노선이 지나가면 지나갈수록 환승할 수 있는 선택권과 가능성은 높아진다. 이는 경유하는 정류장 하나당 평균적으로 다른 시내버스 노선이 몇 개나 지나가는지를 측정하여 알아낸다. 이를 도식화하면 다음과 같다.

표 8 연결성 도식화

연결성 정도	도 식	평균 경유 노선 수
높은 연결성		$3 \times 8 \div 8$ $= 3$
낮은 연결성		$1 \times 8 \div 8$ $= 1$

버스-지하철 환승의 경우에는 버스정류장 근처에 지하철역이 있는 경우에 역시 환승할 수 있는 선택권과 가능성이 높아진다. 따라서 경유 정류장 근처에 지하철역이 많을수록 연결성이 높아지는 것이다. 하지만

버스정류장과 지하철역은 담당하는 이동수단이 다르기 때문에, 버스-버스 환승과 버스-지하철 환승을 동시에 식으로 표현하기 위해서는 버스정류장과 지하철역의 차이를 일치시켜주어야 한다.

본 연구에서는 이 차이를 일치시키기 위해 버스와 지하철의 수단분담률을 활용하였다. 서울 시내 존재하는 버스정류장의 수는 6,058개, 대부분 양 방향에 존재하므로 한 방향에 3,029개라고 볼 수 있고, 9개 지하철에 존재하는 지하철역의 수는 302개이다. 각각의 수단분담률은 버스 28.1%, 지하철 36.2%이다. 이를 종합하여 하나의 버스정류장과 지하철역의 수단분담률 비중을 따져보면, [1 : 12.9]의 값이 나온다.

$$[\text{버스정류장}] : [\text{지하철역}] = 28.1/3,029 : 36.2/302 = 1 : 12.9$$

이를 토대로 보면 1개의 지하철역은 버스정류장 약 12.9개의 이용객 분담효과를 갖는다고 볼 수 있다. 따라서 버스-지하철 환승의 경우 경유하는 지하철역이 존재한다면 이는 12.9개의 버스정류장을 더 경유하는 것으로 간주한다.

$$I_{cn} = \frac{N_{ln}}{N_{bs}} + \frac{\left(\frac{N_{ln}}{N_{bs}} \times N_{sw} \times 12.9\right)}{N_{bs}}$$

여기서, I_{cn} = 연결성 지표

N_{bs} = 경유 정류장 수

N_{ln} = 경유 정류장 총 노선 수

N_{sw} = 경유 지하철역 수

12.9 = 지하철역 가중치

연구에 사용한 자료에서 특정 버스노선이 경유하는 정류장에 다른

버스들이 얼마나 지나가는지를 측정하여 이를 경유 정류장 총 노선 수 (N_{ln}) 라고 정의하였다. 경유 정류장 총 노선수를 경유하는 정류장 수로 나누면 하나의 정류장에 평균적으로 지나가는 버스의 수($\frac{N_{ln}}{N_{bs}}$)를 알 수 있다.

지하철은 앞서 계산한 가중치를 가지고 환승의 비중을 정한다. 특정 버스노선이 어느 하나의 지하철역을 경유할 경우, 이는 12.9개의 정류장 만큼을 추가로 경유하는 것과 같은 효과를 낸다고 본다. 앞서 한 개념 정리의 결과 하나의 정류장에 평균적으로 지나가는 버스의 수는 $\frac{N_{ln}}{N_{bs}}$ 로 볼 수 있으므로, 해당 버스노선이 경유하는 지하철역의 수를 N_{sw} 로 보았을 때 $\frac{N_{ln}}{N_{bs}} \times N_{sw} \times 12.9$ 만큼의 추가 버스가 지나가는 개념으로 정리할 수 있다. 여기서 정류장이 추가된다는 것은 중간 과정에서 개념적으로 추가된다는 것이지 실제로 추가되는 것은 아니므로 평균을 구하기 위한 분모는 그대로 본래의 경유 정류장 수가 된다.

만약 지하철역이 환승역일 경우, 지나가는 노선의 수만큼 지하철역의 수를 높여준다. 예를 들어 버스정류장 근처에 사당역이 있을 경우, 사당역은 2호선과 4호선이 동시에 지나므로, 2개의 지하철역이 존재하는 것으로 본다.

IV 시내버스 기능지표 비교·분석

1. 연구 대상 시내버스

서울시에는 586개의 시내버스(광역, 간선, 지선, 순환) 노선과 235개의 마을버스 노선⁵⁾이 운행 중이며, 하루 이용객은 약 573만 명에 달한다. 이 모든 시내버스에 대해 기능지표 값을 산출하고 비교하는 것은 물리적으로 불가능하므로, 연구대상으로 활용될 각 역할별 버스의 표본을 선택적으로 선정하여 이를 토대로 분석을 진행하고자 한다. 이는 서울특별시 전 지역을 걸쳐 운행되는 버스의 특성을 반영하는 것이다.

1) 서울특별시 버스의 종류⁶⁾

서울특별시 소속 버스는 기능별 4종으로 나누어 볼 수 있는데⁷⁾, 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스이다. 광역버스는 서울과 수도권 도시를 급행으로 연결하는 빨간색 버스로, 버스번호는 [9 + 경기도출발권역번호 + 2자리일련번호]로 구성된다. 총 14개의 노선이 있으며, 점유율은 약 2%이다.

간선버스는 서울 시내 먼 거리를 운행하는 파란색 버스로, 버스 번호는 [출발권역번호 + 도착권역번호 + 1자리일련번호]로 구성된다. 총 122개 노선이 있으며, 점유율은 약 21%이다.

지선버스는 간선버스나 지하철로의 연계 및 권역 내 통행을 위한 초록색 버스로, 버스번호는 [출발권역번호 + 도착권역번호 + 2자리일련번호]로 구성된다. 총 214개 노선이 있으며, 점유율은 약 36%이다.

순환버스는 도심과 부도심 내에서 단거리를 순환하는 노란색 버스

5) 2013년 기준

6) 2013년 기준

7) 서울특별시버스운송사업조합

로, 버스번호는 [권역번호 + 1자리일련번호]로 구성된다. 총 6개 노선이 존재한다.

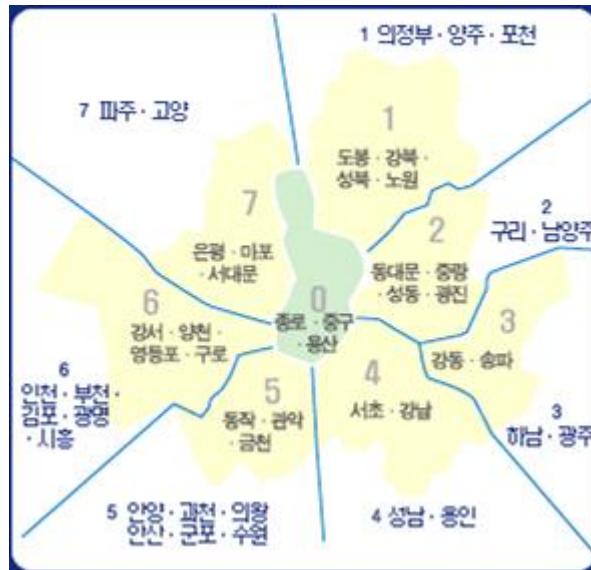


그림 2 서울특별시 권역

이 외에 서울특별시 소재 각 구에 소속되어 있는 마을버스들이 존재하는데, 그 노선 수는 235개, 점유율은 40%에 달한다. 따라서 버스 수단 통행에 마을버스가 차지하는 비중이 매우 높다고 볼 수 있다. 마을버스는 구내 단거리 통행을 목적으로 하는 연두색 버스로, 버스 번호는 [구명 + 2자리일련번호]로 구성된다.

본 연구에서 말하는 서울특별시 시내버스는 이 5종의 기능별 버스를 의미하며, 이 5종의 시내버스의 기능을 미리 정의한 지표들을 통해 비교·분석할 것이다.

2) 연구 대상

연구에 사용될 대상 노선은 각 기능별 버스의 운행 권역을 반영하여 선택한다. 권역의 특징이 모두 반영될 수 있도록 각 권역별 시내버스 표

본의 수를 정하여 무작위로 추출하였다. 총 표본의 수는 통계적으로 유의미한 최소 표본 수인 30개를 추출하였으며, 표본의 수가 30개가 되지 않는 광역버스(14종)와 순환버스(6종)의 경우에는 모든 버스에 대해 연구를 진행하였다.

표 9 연구 대상 시내버스 표본

	광역버스	간선버스	지선버스	순환버스	마을버스
버스 번호	9401	102	1113	02	강남01
	9401B	108	1120	03	강북02
	9403	120	1137	05	강북06
	9404	144	1218	41	강서03
	9408	171	1224	61	관악02
	9409	202	2013	62	광진03
	9503	240	2211		구로06
	9701	263	2233		금천01
	9703	272	2412		노원09
	9707	273	3011		도봉02
	9709	302	3212		동대문02
	9710	320	3314		동작01
	9711	342	3414		동작14
	9714	360	3422		마포02
		401	4212		마포03
		441	4318		서대문02
		461	4426		서대문13
		472	4433		서초01
		500	5413		서초10
		507	5515		서초17
		540	5530		성동07
		571	5627		성동09
		602	6511		성북05
		605	6620		성북22
		643	6631		양천03

	673	6715		영등포02
	700	7011		용산01
	707	7021		은평06
	720	7713		종로09
	753	7739		중랑01

모든 버스가 연구대상이 된 광역버스는 경기도 고양시 일산구와 경기도 성남시 분당구를 운행하는 버스인 경우가 대부분이다. 간선버스와 지선버스는 8개의 권역을 골고루 반영할 수 있도록 표본을 추출하였는데, 동일한 앞자리 번호를 가진 지선버스(예: 7739)의 경우는 서울시 권역과 경기도 권역을 운행하는 버스와 서울 시내를 관통하는 버스와의 성격이 약간 다르다고 볼 수 있다. 순환버스는 여의도와 남산을 순환하는 버스이다. 마을버스는 각 구의 마을버스 비율에 맞추어 무작위로 표본을 추출하였다. 몇몇 버스는 구를 관통하기도 하지만, 대부분 구내에서 단거리 통행을 담당하고 있다.

2. 시내버스 기능지표 값 산출 및 분석

1) 접근성

앞서 접근성 지표는 버스정류장의 밀도와 버스정류장의 배치 두 가지 항목으로 구성하였다. 두 지표 모두 높으면 높을수록 그 종류의 버스가 접근성이 높은 것을 의미한다.

$$I_{ac} = f(D_{bs}, A_{bs})$$

여기서, I_{ac} = 접근성 지표

D_{bs} = 버스정류장 밀도

A_{bs} = 버스정류장 배치

(1) 버스정류장의 밀도

$$D_{bs} = \frac{N_{bs}}{L_{rt}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수

L_{rt} = 노선길이

버스정류장 밀도 값 산출에 필요한 자료는 해당 시내버스 노선이 경유하는 정류장의 총 수와 노선 길이이다. 노선 길이는 정류장 누적거리로도 볼 수 있다.

표 10 광역버스 정류장 밀도지표

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
9401	57	72,361	0.7877171
9401B	59	74,742	0.7893821
9403	131	73,903	1.7725938
9404	106	79,012	1.3415684
9408	113	78,964	1.4310319
9409	102	80,212	1.2716302
9503	111	63,647	1.7439942
9701	132	78,497	1.6815929
9703	116	66,503	1.7442822
9707	75	64,543	1.162016
9709	138	75,999	1.8158134
9710	136	86,245	1.576903
9711	83	94,328	0.8799084

9714	40	76,285	0.5243495
광역버스 정류장 밀도지표 평균			1.323056

정류장 밀도 지표 값은 1km당 존재하는 버스정류장의 수를 나타낸다. 즉 광역버스 9401의 경우 지표 값이 약 0.78 정도 나왔으므로 1km당 약 0.78개의 버스 정류장이 존재하는 것이다.

이와 같이 정류장 수와 정류장 누적거리를 활용하여 각 버스 노선별 정류장의 밀도를 도출하고, 이를 평균한 값을 분석에 사용할 것이다. 광역버스 뿐만 아니라 간선버스, 지선버스, 순환버스, 마을버스까지 다음의 과정을 반복하고, 이를 요약하면 다음과 같다.

표 11 정류장 밀도지표 값 요약

버스 종류	정류장 밀도지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	1.323056	
간선버스	1.999137	
지선버스	2.446331	
순환버스	1.838347	
마을버스	4.25115	

그림 3 정류장 밀도지표 그래프

각 종류별 시내버스의 운행 목적을 다시 한 번 살펴보았을 때, 마을버스는 구내의 단거리 통행을 목적으로 한다. 즉 짧은 거리에 많은 정류장을 두어 주민들의 이동을 편리하게 하는 것이 운행 목적이고, 그 목적에 맞게 다른 종류의 시내버스 보다는 월등히 높은 정류장 밀도 값을 나타냈다.

그 뒤로 지선버스가 간선버스나 순환버스보다 정류장 밀도가 꽤 높게 나타났는데, 그 이유도 역시 운행목적에서 찾을 수 있다. 지선버스는

권역별 교통수요 보다 권역 내 교통수요를 처리하는 역할을 담당하는 버스이므로 마을버스와 어느 정도 비슷한 성격을 갖고, 비교적 높은 정류장 밀도 값을 나타낸다.

간선버스와 순환버스는 비슷한 밀도지표 값이 도출되었다. 도심 및 시내통행이라는 공통점이 이러한 결과가 나오게 된 이유로 보인다. 하지만 근본적으로 둘의 성격은 약간 다른데, 간선버스는 장거리 통행을 위주로 하는 반면 순환버스는 비교적 단거리 통행을 위주로 하고 있다는 큰 차이가 있다.

광역버스의 경우 고속도로를 경유하는 경우가 많고, 고속도로에는 정류장이 없기 때문에 당연히 정류장 밀도가 낮을 수밖에 없다. 또한 정차를 줄이고 급행으로 서울과 수도권을 연결하기 때문에 밀도가 낮게 나타난다.

다각형 그래프를 보면 마을버스가 밀도지표가 월등히 높고, 광역버스가 매우 낮은 것을 한 눈에 알 수 있다.

(2) 버스정류장의 배치

$$A_{bs} = \frac{1,000}{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_{bs}} (s_k - m_s)^2}{N_{bs}}}}$$

여기서, N_{bs} = 경유 정류장 수

s_k = k번째 정류장과 다음 정류장 사이의 거리

m_s = s_k 의 평균

1000 = 크기를 맞추기 위한 상수

버스정류장 배치 값 산출에 필요한 자료는 해당 시내버스 노선이 경

유하는 정류장의 수와 정류장간 거리이다. 거리차이의 표준편차를 활용하여 버스정류장 배치가 잘 퍼져 있는지를 확인한다. 이는 단순히 숫자의 값으로 나타나는 것이고, 서로 수학적인 비교는 불가능하다. 단순히 크기의 차이로 비교할 수 있을 뿐이다.

표 12 광역버스 정류장 배치지표

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
9401	57	3529.437	0.283331
9401B	59	3466.832	3.155683
9403	131	316.8886	0.69021
9404	106	1448.835	1.253663
9408	113	797.6623	0.627296
9409	102	1594.143	2.346753
9503	111	426.1207	2.45279
9701	132	407.699	2.827371
9703	116	353.6854	0.881532
9707	75	1134.388	3.684446
9709	138	271.4112	3.589225
9710	136	278.6117	0.389793
9711	83	2565.467	0.504054
9714	40	1983.913	0.288448
광역버스 정류장 배치지표 평균			1.641043

정류장 배치지표는 개념적으로 정의할 수 있는 값으로 나오는 지표는 아니다. 즉, 정류장 밀도지표는 ‘1km당 존재하는 정류장의 수’라고 개념적으로 정의할 수 있지만, 정류장 배치지표는 지표의 값이 특정 개념을 나타내는 것은 아니고, 단순히 크기가 큰지 작은지에 대해서만 고려하는 지표이다. 또한 그 크기를 비교하는 데 있어서 2배 높다 하여 2배 더 고르게 배치되어 있는 것도 아니다. 즉 9401버스와 9401B버스를 비교할 때, 9401이 0.28, 9401B가 약 3.15이므로 단순히 9401B버스가 9401버

스보다 배치가 더 고르게 되어 있다는 것만을 의미한다.

이와 같은 과정을 광역버스 외에 다른 모든 시내버스에도 적용하여 각 표본 버스의 배치지표 값을 도출하고 이를 평균으로 나타내 비교한다. 요약하면 다음의 표와 같다.

표 13 정류장 배치지표 값 요약

버스 종류	정류장 배치지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	1.641043	
간선버스	3.538051	
지선버스	4.930897	
순환버스	3.036673	
마을버스	8.303728	

그림 4 정류장 배치지표 그래프

정류장 배치는 마을버스가 가장 골고루 잘 배치되어 있는 것으로 나타났다, 그 뒤로 지선, 간선, 순환, 광역버스의 순으로 나타났다. 이러한 순서는 정류장 누적거리, 즉 노선길 이와 많은 연관성이 있는데, 길면 길 수록 정류장 배치가 불균등하다는 것을 말해준다. 또한 정류장 밀도 값이 보이는 경향과 같은 경향성을 보여주고 있다.

광역버스의 경우 특히 낮은 정류장 배치 지표 값을 나타냈는데, 그 이유는 앞서 설명한 것과 같이 고속도로를 경유하는 경우가 많고 고속도로에 정류장이 없기 때문으로 보인다.

다각형 그래프를 보면 정류장 밀도지표와 매우 비슷한 경향을 보이고 있다. 마을버스가 굉장히 높고, 광역버스가 매우 낮은 경향인데, 다른 방식의 접근성 평가로 동일한 경향성을 나타낼 수 있다는 것이 의의가 있다고 본다.

2) 이동성

앞서 이동성 지표는 속도의 개념으로 접근하여, 통행목적지까지 빠르게 가는 것이 이동성이 높은 것이라고 정의하였다. 이동성 지표 역시 그 값이 높으면 높을수록 이동성이 좋은 것으로 본다.

$$I_{mb} = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{t_k + t_k^{wt}}$$

여기서, I_{mb} = 이동성 지표

n = 시내버스 이용객 표본 수

l_k = 이용객 k의 이동거리

t_k = 이용객 k의 이동시간

t_k^{wt} = 이용객 k의 대기시간

이동성을 지표 산출에 필요한 자료는 이용객들의 개별 이동거리와 이동시간, 그리고 대기시간이다. 서울시 시내버스의 경우 시간대별(출퇴근시간대, 일반시간대)로 배차간격이 매우 일정하게 유지되고 있어서, 대기시간은 평균적으로 각 시내버스 일반 시간대 배차간격의 절반 값으로 보고 지표를 설정하였다.

표 14 광역버스 이동성지표

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
9401	10	5	654.0284
9401B	15	7.5	849.8302
9403	11	5.5	432.8425
9404	12	6	905.2433

9408	12	6	345.8333
9409	30	15	625.5383
9503	30	15	536.3004
9701	23	11.5	262.0072
9703	15	7.5	439.3973
9707	10	5	739.6028
9709	30	15	704.1943
9710	15	7.5	627.7315
9711	30	15	622.011
9714	40	20	584.4869
광역버스 이동성지표 평균			594.932

이동성지표는 해당 시내버스의 평균 속력을 나타낸다. 따라서 9401 버스의 이동성 지표가 약 654로 도출되었으니 분당 654m의 속력을 낸다는 것이다.

이와 같은 과정을 광역버스 외에 다른 모든 시내버스에도 적용하여 각 표본 버스의 이동성지표 값을 도출하고 이를 평균으로 나타내 비교한다. 요약하면 다음의 표와 같다.

표 15 이동성지표 값 요약

버스 종류	이동성지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	594.932	
간선버스	269.7579	
지선버스	169.7662	
순환버스	136.4664	
마을버스	88.93527	

그림 5 이동성지표 그래프

시내버스의 속도는 광역버스가 가장 빠르고 그 뒤로 간선버스, 지선버스, 순환버스, 그리고 마을버스의 순으로 속도가 높았다. 간선, 지선, 순환버스는 큰 차이 없는 속도를 나타냈는데, 광역버스와 마을버스는 각각 매우 높고 낮은 속도 값을 나타냈다.

광역버스는 버스정류장이 적고 정차를 덜하면서 서울과 수도권을 급행으로 연결하고 있기 때문에 속도가 빠르게 나타난 것으로 보인다. 간선, 지선, 순환버스는 모두 서울 시내에서 운행되고 있기 때문에 비슷한 속도 값을 나타냈다.

마을버스는 다른 종류의 시내버스보다 다소 낮은 속도 값을 나타냈는데, 이는 노선길이가 짧고 정류장이 많아 정차가 많을 뿐만 아니라 다소 도로상황이 좋지 않거나 지대가 높아지는 구내 도로들을 통행하기 때문으로 보인다.

주목 할 점은 접근성이 높은 시내버스는 이동성이 낮게 나타나는 경향이 있다는 것이다. 이는 접근성이 높을수록 정차가 많은 것이고, 정차가 많으면 많을수록 일정 거리를 가는 시간은 길어질 수밖에 없으니, 속력이 낮게 나타나기 때문이라고 생각된다.

다각형그래프를 보면 광역버스가 거의 이동성 부문에서는 압도적이며, 간선이나 지선버스가 그나마 어느 정도의 속력을 내고 있다는 것을 한 눈에 알 수 있다.

3) 연결성

연결성은 해당 시내버스가 다른 대중교통수단(버스, 지하철)을 얼마나 잘 연결해주는냐에 대한 것이다. 하차한 정류장에서 다른 대중교통을 얼마나 이용할 수 있는지 측정하였다. 따라서 하차정류장에서 연결되는 버스노선의 수와 지하철역의 수를 고려하였는데, 지하철로 환승하는 경우는 하차정류장 근처 도보 5분 거리(약 300m) 이내에 지하철역이 있을 경우만 고려하였다.

$$I_{cn} = \frac{N_{ln} + (\frac{N_{ln}}{N_{bs}} \times N_{sw} \times 12.9)}{N_{bs}}$$

여기서, I_{cn} = 연결성 지표

N_{bs} = 경유 정류장 수

N_{ln} = 경유 정류장 총 노선 수

N_{sw} = 경유 지하철역 수

12.9 = 지하철역 가중치

연결성을 산출하기 위해 필요한 자료는 경유 정류장 수, 경유 정류장 총 노선 수, 경유 지하철역 수이다. 지하철역이 환승역인 경우, 지나가는 노선 수만큼 지하철역을 경유하는 것으로 간주하였다.

표 16 광역버스 연결성지표

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
9401	57	245	3	7.216528
9401B	59	250	3	7.016662
9403	131	380	25	10.04196
9404	106	330	14	8.417408
9408	113	405	28	15.04041
9409	102	409	11	9.588149
9503	111	223	21	6.912077
9701	132	272	28	7.699174
9703	116	237	18	6.132833
9707	75	160	11	6.1696
9709	138	291	21	6.248157

9710	136	289	26	7.365625
9711	83	310	16	13.02279
9714	40	130	10	13.73125
광역버스 연결성지표 평균				8.900187

도출된 연결성 값은 해당 종류의 시내버스를 타서 이동을 한 뒤 정류장에서 하차했을 때 평균적으로 그곳에서 환승할 수 있는 대중교통의 종류의 수라고 말할 수 있다. 즉, 9401버스의 경우 어느 정류장에서 하차했을 때 그 정류장에서 약 7개의 다른 버스로 환승할 수 있다는 의미다.

이와 같은 과정을 광역버스 외에 다른 모든 시내버스에도 적용하여 각 표본 버스의 연결성지표 값을 도출하고 이를 평균으로 나타내 비교한다. 요약하면 다음의 표와 같다.

표 17 연결성지표 값 요약

버스 종류	연결성지표 평균 값	다각형 그래프
광역버스	8.900187	
간선버스	24.03473	
지선버스	14.28566	
순환버스	14.18944	
마을버스	3.813099	

그림 6 연결성지표 그래프

시내버스의 연결성은 간선버스가 가장 높았고 그 뒤로 지선버스와 순환버스가 거의 비슷한 값을 나타냈다. 광역버스와 마을버스는 다소 낮은 지표 값을 보였다. 간선버스의 경우에는 경유하는 버스정류장 총 노선 수와 경유 지하철역이 모두 많았고, 지선버스는 간선버스에 비해 두 항목 다 조금씩 낮았다. 광역버스는 경유 지하철역 수는 지·간선버스와

크게 차이하지 않았으나 경유 버스정류장 총 노선수가 다소 낮았다. 마을버스는 구내 단거리 통행이 목적인만큼, 두 값 모두 다 낮았다.

지선버스의 운행 목적이 간선버스와 지하철역을 연계하는 것에 있는 것에 비해 연결성이 간선버스보다 낮은 것은 다소 의아한 결과였다. 간선버스는 시내를 관통하는 장거리 통행을 하면서 많은 지하철역을 경유하는 반면 지선버스는 권역 내 통행에 집중하기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 보인다.

3. 시내버스 종류별 고유 기능지표 값

5종의 시내버스에 대한 3가지 기능지표 값을 요약하면 다음과 같다. 아래 표는 유효숫자를 3개로 맞춰 나타낸 것이다. 값이 높으면 높을수록 그 기능이 우세하다는 것을 의미한다.

표 18 종류별 시내버스 기능지표 값

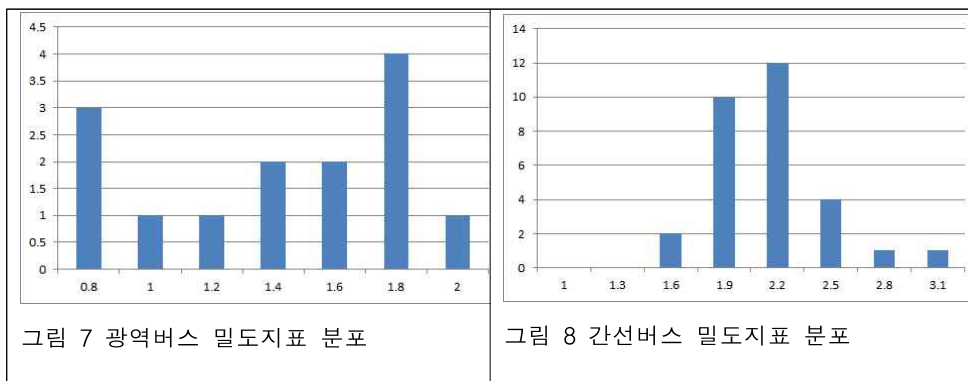
버스 종류	접근성		이동성	연결성
	밀도	배치		
광역버스	1.32	1.64	595	8.90
간선버스	2.00	3.54	270	24.0
지선버스	2.45	4.93	170	14.3
순환버스	1.84	3.04	136	14.2
마을버스	4.25	8.30	88.9	3.81

표본이 많은 대부분의 항목에서 정규분포와 비슷한 형태의 분포를 보이긴 했지만, 모든 항목에서 이를 따르는 것이 아니었다.

간선버스나 지선버스의 경우에는 어느 정도 정규분포와 비슷한 분포를 나타냈으나, 표본이 적은 광역버스와 순환버스의 경우에는 특정 분포라고하기 어려울 만큼 통계적으로 무의미한 결과가 도출되었다. 다음의

표는 이를 단적으로 보여주는 예시로, 간선버스의 밀도지표의 경우 어느 정도 정규분포의 구성을 따르고 있지만, 광역버스의 경우 특정 분포라고 보기 어려운 단순한 수의 나열되는 결과를 낳았다.

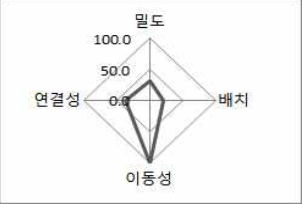
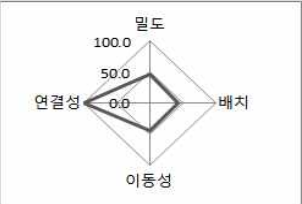
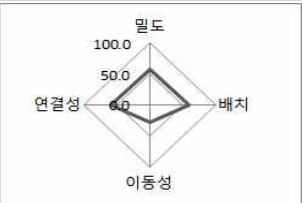
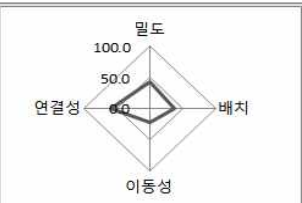
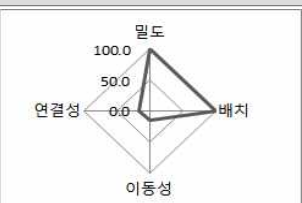
따라서 각 시내버스의 기능지표 값을 대표하는 것은 평균값으로 나타냈다. 광역버스와 같이 표본의 수가 적고 분포가 통계적으로 무의미한 경우가 많았기 때문에 표준화에 의한 일정 범위로 대푯값을 제시하기에는 무리가 있었기 때문이다.



이렇게 나타난 시내버스 5종의 기능지표를 버스 종류별로 분산형 그래프로 나타내보면 해당 종류의 시내버스가 어떤 기능에 초점을 맞추고 운행되고 있는지 한 눈에 알 수 있다. 이 비교는 단위를 일치시키지 않은 단순한 백분위 비교이며, 가장 큰 값을 나타내는 버스의 지표를 100으로 환산하여 그 값들을 비교한 것이다. 정량적인 비교보다는, 시각적으로 한 눈에 다른 버스에 비교해 어떤 기능에 더 초점을 맞추고 있는지에 대한 것이다.

다각형 그래프를 보면 광역버스는 이동성 기능에 초점을, 간선버스는 연결성 기능에 초점을, 지선버스는 접근성과 연결성에 초점을, 순환버스는 모든 기능을 소극적으로 수행하고, 마을버스는 접근성에 초점을 맞춘 버스인 것을 한 눈에 알 수 있다.

표 19 종류별 시내버스 기능지표 평균 값 백분위 환산 및 다각형 그래프

버스 종류	접근성		이동성	연결성	기능지표 그래프
	밀도	배치			
광역버스	31.1	19.8	100.0	37.1	 <p>그림 9 광역버스 기능지표 그래프</p>
간선버스	47.1	42.7	45.4	100.0	 <p>그림 10 간선버스 기능지표 그래프</p>
지선버스	57.6	59.4	28.6	59.6	 <p>그림 11 지선버스 기능지표 그래프</p>
순환버스	43.3	36.6	22.9	59.2	 <p>그림 12 순환버스 기능지표 그래프</p>
마을버스	100.0	100.0	14.9	15.9	 <p>그림 13 마을버스 기능지표 그래프</p>

V 결론

1. 연구의 요약

본 연구는 스마트카드 자료를 활용하여 이용객의 이용 양상을 반영하는 시내버스 기능지표를 개발하고, 이를 통해 현재 역할별로 나누어져 있는 시내버스를 해당 지표로 비교분석하는 것을 목표로 하였다. 또한 개발한 기능지표는 시내버스의 노선평가나 권역·지역별 시내버스 기능을 측정·비교하는 데에도 활용하는 방향에 대해서도 활용할 수 있을 것이라고 예상하였다.

연구는 5종의 서울시 시내버스인 광역버스, 간선버스, 지선버스, 순환버스, 마을버스에 대해 진행되며, 기능지표는 접근성, 이동성, 연결성의 총 3가지로 정의되었다.

접근성은 통행발생지와 버스 노선과의 이용근접성을 말한다. 정류장 밀도와 정류장 배치의 두 가지 항목으로 나누어 고려하였다.

이동성은 해당 시내버스 이용 시 목적지까지의 이동효율성을 일컫는 말이다. 여기서 이동효율성이란 얼마나 빨리 통행목적지에 도달할 수 있는가를 의미하는 것으로, 이용객의 개별 속도를 고려하였다.

연결성은 환승으로 대표되는 지표로서, 다른 대중교통수단을 연결해주는 가능성을 의미한다. 이때 다른 대중교통수단이란, 택시를 제외한 버스와 지하철로 한정한다. 본 연구에서는 환승을 버스에서 하차한 뒤 하차한 정류장에서 다른 버스를 타거나, 또는 가까운 지하철역까지 도보로 이동한 뒤 지하철을 타는 것이라 정의하였다.

시내버스 종류별로 표본을 추출해 각각의 기능지표 값을 도출하고, 이를 통해 각 시내버스의 기능을 비교·분석 할 수 있었다.

광역버스는 접근성과 연결성이 다소 낮지만 이동성이 매우 높은 장거리 통행 목적의 기능을 담당하고 있다는 결과를 얻을 수 있었고, 이는

실제 광역버스 설계 목적에 어느 정도 부합하는 것으로 볼 수 있다.

간선버스와 지선버스는 다른 기능들보다도 연결성에 특히 초점을 맞추고 있는 것을 알 수 있었다. 서울 시내를 통행하는 만큼 많은 지하철역을 경유하고 있기 때문에 높은 연결성을 보이는 것으로 판단된다.

순환버스는 일정 단거리 구간을 순환하는 특수한 기능을 가지고 있어서 그런지 모든 지표에 대해 낮은 값을 나타냈다.

마을버스는 구내의 단거리 통행을 목적으로 한다. 즉 짧은 거리에 많은 정류장을 두어 주민들의 이동을 편리하게 하는 것이 운행 목적이고, 그 목적에 맞게 다른 종류의 시내버스 보다는 월등히 높은 접근성 값을 나타냈다.

이렇게 각 시내버스의 기능을 설명할 수 있는 기능지표를 통해서 향후 신설노선에 대한 평가나 신설노선의 종류 결정, 그리고 권역별·지역별 시내버스 노선의 비교평가를 할 수 있을 것으로 보인다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구 과제

1) 연구의 한계

이동성의 경우 이용자 개인의 대기시간과 이동시간, 그리고 이동거리를 고려하였기 때문에 스마트카드 자료의 장점인 개개인의 이용 행태를 어느 정도 반영하고 있는 반면, 접근성과 연결성의 경우 개개인의 이용 행태보다는 정류장에 초점을 맞추고 있어 스마트카드 자료의 장점을 극대화하지 못하였다. 또한 연결성을 정의하는 데 있어서 연결되는 버스과 지하철간의 차이는 가중치는 보정을 해 주었으나, 버스노선끼리 환승하는 경우 어떤 종류의 버스노선이 연결되는지에 따른 차이는 반영하지 못하였다.

본 연구에서는 서울특별시의 시내버스만을 대상으로 하였지만 사실 경기도 소속 버스(G-bus)가 서울시를 통행하는 경우가 매우 많고, 특히

광역버스의 경우 그 비중이 매우 큰데 이를 고려하지 못한 점도 연구의 한계라고 생각된다.

또한 도출된 기능지표 값의 표본이 적어 특정 버스의 지표의 경우 각 지표가 어떤 분포를 이루는지를 알기도 쉽지 않았다.

2) 향후 연구 과제

향후 연구에는 앞서 연구의 한계로 지적됐던 문제들을 보완하는 방향의 연구가 진행되어야 한다. 즉 접근성과 연결성에도 스마트카드 자료의 장점인 이용객의 행태를 반영할 수 있도록, 또 연결성에 경유하는 버스 노선의 종류를 반영할 수 있도록 해야 한다.

서울시를 통행하는 경기도 소속 버스까지 연구의 대상으로 포함시킨다면 도출된 기능지표 값이 어떤 분포를 이루는지 정확히 알 수 있을 것이며, 이는 기능지표 값에 신뢰성을 높이는 것으로 향후 연구에서는 반드시 진행되어야 할 것이다.

이런 과정이 이루어지면 시내버스의 고유 기능지표 값을 범위로 제시하거나, 변동성 있는 값으로 제시하는 것이 가능해질 수 있다. 또한 이렇게 개발된 기능지표의 신뢰성이 올라간다면, 신설 버스노선의 기능 적정성 평가나 버스종류 결정, 그리고 권역별·지역별 시내버스 노선 평가에 대한 연구도 진행될 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 김기종·최동호(2004), 시내버스 노선의 비교 평가에 관한 연구, 대한교통학회 학술대회지, 46(19), 1-6.
- 박진영(2006), 대중교통정책수립에 있어서 교통카드 자료 활용방안 연구, 한국교통연구원.
- 신성일(2004), 대중교통 이동성 분석지표 개발, 서울시정개발연구원.
- 신성일·이창주·조용찬(2008), 대중교통 카드 자료를 이용한 지역 간 대중교통 서비스 평가 방안, 교통 기술과 정책, 5(1), 111-127.
- 이상용·정현영(2013), 시내버스 노선별 특성 분석에 기초한 운행 개선 방안 연구, 대한교통학회」, 31(4), 76-84.
- 이상용·박경아(2003), 시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용, 대한교통학회지, 21(4), 29-45.
- 장경욱·김황배·박홍식·박선복(2011), 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 도시 내 지역간 직결노선버스 기종점 선정에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 31(4D), 547-553.
- 서울특별시 교통통계, <http://traffic.seoul.go.kr/archives/300> 에서 2015년 10월 검색
- 서울특별시버스운송사업조합 버스안내, http://www.sbus.or.kr/bus_info/bus_01.htm 에서 2015년 10월 검색
- Florida(2000), Florida's Mobility Performance Measures Program, the Conference on Performance Measures to Improve Transportation Systems and Agency Operations, California.
- Fu Liping, Xin Yaping(2007), A New Performance index for

Evaluating Transit Quality of Service, Journal of Public Transportation, 10(3), 47-69.

Transportation Research Board of the National Academies(2003),
TCRP Report 88: A guidebook for Developing a Transit
performance-Measurement System.

<부록1> 각 시내버스 정류장 밀도지표 결과 값

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
9401	57	72,361	0.7877171
9401B	59	74,742	0.7893821
9403	131	73,903	1.7725938
9404	106	79,012	1.3415684
9408	113	78,964	1.4310319
9409	102	80,212	1.2716302
9503	111	63,647	1.7439942
9701	132	78,497	1.6815929
9703	116	66,503	1.7442822
9707	75	64,543	1.162016
9709	138	75,999	1.8158134
9710	136	86,245	1.576903
9711	83	94,328	0.8799084
9714	40	76,285	0.5243495
광역버스 정류장 밀도지표 평균			1.323056

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
102	69	30985	2.226884
108	164	88542	1.8522283
120	87	33101	2.6283194
144	95	48606	1.9544912
171	84	44817	1.8742888
202	99	43233	2.2899174
240	120	41942	2.8610939
263	64	32249	1.9845577
272	95	46652	2.0363543

273	108	43901	2.4600806
302	113	55458	2.037578
320	79	36049	2.1914616
342	127	59099	2.1489365
360	92	55757	1.650017
401	94	53335	1.7624449
441	90	51183	1.7583963
461	141	64473	2.186962
472	66	39655	1.6643551
500	95	49076	1.9357731
507	100	47323	2.1131374
540	91	52456	1.7347873
571	122	57813	2.110252
602	79	39248	2.0128414
605	99	57996	1.7070143
643	77	45799	1.6812594
673	91	51329	1.7728769
700	93	61856	1.503492
707	95	62896	1.5104299
720	109	48463	2.2491385
753	97	46753	2.0747332
간선버스 정류장 밀도지표 평균			1.999137

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
1113	32	12405	2.579605
1120	54	18388	2.9366978
1137	73	24353	2.9975773
1218	81	30818	2.6283341
1224	86	31276	2.7497122
2013	78	25315	3.0811772
2211	53	17900	2.9608939

2233	119	42643	2.7906104
2412	90	49364	1.823191
3011	81	43294	1.870929
3212	62	25872	2.3964131
3314	52	23719	2.1923353
3414	70	29771	2.3512814
3422	87	39831	2.1842284
4212	71	35180	2.0181922
4318	99	51722	1.9140791
4426	32	10108	3.1658093
4433	32	10595	3.0202926
5413	85	35366	2.4034383
5515	30	10920	2.7472527
5530	112	54721	2.0467462
5627	56	34602	1.6184036
6511	73	26960	2.7077151
6620	60	24866	2.4129333
6631	89	37944	2.3455619
6715	59	28396	2.0777574
7011	79	37396	2.1125254
7021	77	34664	2.2213247
7713	59	23386	2.5228769
7739	48	19108	2.5120368
지선버스 정류장 밀도지표 평균			2.446331

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
02	49	24183	2.0262168
03	23	16038	1.434094
05	22	14273	1.5413718
41	20	11582	1.7268175
61	13	5872	2.2138965

62	10	4790	2.0876827
순환버스 정류장 밀도지표 평균			1.838347

버스 번호	정류장 수(개)	정류장 누적거리(km)	정류장 밀도지표
강남01	59	14707	4.0116951
강북02	40	12927	3.0942988
강북06	33	12372	2.6673133
강서03	37	11470	3.2258065
관악02	44	11349	3.8769936
광진03	39	11121	3.5068789
구로06	38	10933	3.4757157
금천01	41	10899	3.761813
노원09	73	10859	6.7225343
도봉02	39	10592	3.6820242
동대문02	28	8022	3.4904014
동작01	27	7444	3.6270822
동작14	23	7366	3.1224545
마포02	43	7258	5.9244971
마포03	31	7185	4.3145442
서대문02	32	7153	4.4736474
서대문13	19	6334	2.9996842
서초01	36	6268	5.7434588
서초10	25	5672	4.4076164
서초17	27	5445	4.9586777
성동07	17	5258	3.2331685
성동09	30	5079	5.9066745
성북05	21	4810	4.3659044
성북22	15	4119	3.6416606
양천03	11	3743	2.9388191
영등포02	18	3504	5.1369863
용산01	12	3290	3.6474164

은평06	17	2895	5.8721934
종로09	16	2640	6.0606061
중랑01	11	1949	5.64392
마을버스 정류장 밀도지표 평균			4.25115

<부록2> 각 시내버스 정류장 배치지표 결과 값

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
9401	57	3529.437	0.283331
9401B	59	3466.832	3.155683
9403	131	316.8886	0.69021
9404	106	1448.835	1.253663
9408	113	797.6623	0.627296
9409	102	1594.143	2.346753
9503	111	426.1207	2.45279
9701	132	407.699	2.827371
9703	116	353.6854	0.881532
9707	75	1134.388	3.684446
9709	138	271.4112	3.589225
9710	136	278.6117	0.389793
9711	83	2565.467	0.504054
9714	40	1983.913	0.288448
광역버스 정류장 배치지표 평균			1.641043

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
102	69	206.7697	4.836299
108	164	319.0805	3.134005

120	87	177.8885	5.621498
144	95	338.4204	2.954905
171	84	284.3786	3.516438
202	99	148.9849	6.71209
240	120	245.0325	4.081091
263	64	436.9836	2.288416
272	95	354.6506	2.819676
273	108	200.7748	4.980706
302	113	255.4605	3.9145
320	79	292.6931	3.416548
342	127	184.4585	5.421275
360	92	247.3441	4.04295
401	94	386.6036	2.586629
441	90	305.6686	3.271516
461	141	241.9858	4.132473
472	66	645.2999	1.549667
500	95	231.6046	4.317703
507	100	236.4833	4.228628
540	91	457.7878	2.184418
571	122	431.0355	2.319995
602	79	291.564	3.429778
605	99	278.0323	3.596704
643	77	371.0757	2.694868
673	91	577.6263	1.731223
700	93	411.3133	2.431237
707	95	474.0264	2.109587
720	109	209.502	4.773223
753	97	328.5694	3.043497
간선버스 정류장 배치지표 평균			3.538051

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
-------	----------	--------------------	-------------

1113	32	168.8989	5.920701
1120	54	172.6985	5.790438
1137	73	168.7108	5.927304
1218	81	172.2542	5.805375
1224	86	173.684	5.757582
2013	78	137.0671	7.295695
2211	53	127.4843	7.844101
2233	119	172.9093	5.783377
2412	90	387.8854	2.578081
3011	81	399.76	2.501501
3212	62	468.8521	2.132869
3314	52	181.8595	5.498749
3414	70	147.3389	6.787075
3422	87	210.8351	4.743042
4212	71	172.9473	5.782109
4318	99	235.2234	4.251278
4426	32	196.7987	5.081334
4433	32	258.9546	3.861681
5413	85	172.9473	5.782109
5515	30	199.1938	5.020236
5530	112	266.2447	3.755944
5627	56	539.5436	1.853418
6511	73	170.7086	5.857934
6620	60	213.9052	4.674968
6631	89	227.1027	4.403294
6715	59	572.7353	1.746007
7011	79	253.3073	3.947774
7021	77	201.1933	4.970346
7713	59	184.023	5.434103
7739	48	140.086	7.138474
지선버스 정류장 배치지표 평균			4.930897

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
02	49	492.2813	2.031359
03	23	537.6004	1.860118
05	22	401.0127	2.493687
41	20	297.0891	3.365993
61	13	263.5799	3.793915
62	10	213.9054	4.674965
순환버스 정류장 배치지표 평균			3.036673

버스 번호	정류장 수(개)	정류장간 거리 표준편차(m)	정류장 배치지표
강남01	59	214.1845	4.668873
강북02	40	90.56098	11.04228
강북06	33	85.17624	11.74036
강서03	37	88.38683	11.3139
관악02	44	152.623	6.552093
광진03	39	160.8146	6.218339
구로06	38	117.2342	8.529934
금천01	41	162.5465	6.152086
노원09	73	170.3101	5.871644
도봉02	39	117.7173	8.494927
동대문02	28	243.3685	4.108995
동작01	27	149.1309	6.705519
동작14	23	216.9383	4.609605
마포02	43	82.9431	12.05646
마포03	31	173.9837	5.747666
서대문02	32	62.27521	16.05775
서대문13	19	114.8305	8.708486
서초01	36	124.1955	8.051824
서초10	25	114.3025	8.748715
서초17	27	170.924	5.850553

성동07	17	264.3487	3.782883
성동09	30	103.0825	9.700968
성북05	21	180.4209	5.542596
성북22	15	127.0107	7.873352
양천03	11	84.98805	11.76636
영등포02	18	102.4442	9.761416
용산01	12	116.4147	8.589978
은평06	17	51.8734	19.2777
종로09	16	219.5283	4.555222
중랑01	11	142.2202	7.031352
마을버스 정류장 배치지표 평균			8.303728

<부록 3> 각 시내버스 이동성지표 결과 값

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
9401	10	5	654.0284
9401B	15	7.5	849.8302
9403	11	5.5	432.8425
9404	12	6	905.2433
9408	12	6	345.8333
9409	30	15	625.5383
9503	30	15	536.3004
9701	23	11.5	262.0072
9703	15	7.5	439.3973
9707	10	5	739.6028
9709	30	15	704.1943
9710	15	7.5	627.7315
9711	30	15	622.011
9714	40	20	584.4869

광역버스 이동성지표 평균	594.932
---------------	---------

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
102	11	5.5	198.1562
108	20	10	263.1078
120	6	3	237.2703
144	8	4	245.6945
171	10	5	221.3378
202	10	5	238.7644
240	12	6	175.9055
263	12	6	123.068
272	6	3	342.0782
273	12	6	187.9675
302	15	7.5	488.6681
320	10	5	223.5642
342	15	7.5	324.3712
360	8	4	482.7082
401	14	7	294.5334
441	9	4.5	233.2093
461	13	6.5	192.0438
472	10	5	289.083
500	11	5.5	319.1192
507	10	5	309.0823
540	12	6	419.8242
571	19	9.5	221.4679
602	8	4	264.8192
605	10	5	280.2772
643	9	4.5	265.7081
673	16	8	258.4031
700	15	7.5	263.4995
707	17	8.5	231.0281

720	10	5	305.4977
753	17	8.5	192.4807
간선버스 이동성지표 평균			269.7579

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
1113	18	9	217.4129
1120	16	8	104.5136
1137	10	5	160.8121
1218	14	7	183.7044
1224	10	5	222.4713
2013	15	7.5	171.402
2211	6	3	182.4777
2233	11	5.5	146.4649
2412	12	6	193.8864
3011	11	5.5	124.372
3212	15	7.5	160.326
3314	10	5	179.5329
3414	14	7	140.9088
3422	16	8	160.35
4212	12	6	159.434
4318	11	5.5	223.0048
4426	16	8	130.7355
4433	11	5.5	172.6413
5413	10	5	255.0657
5515	10	5	143.0397
5530	12	6	196.7093
5627	11	5.5	146.3881
6511	21	10.5	154.3236
6620	16	8	127.3429
6631	10	5	174.2442
6715	17	8.5	193.74

7011	11	5.5	261.5408
7021	10	5	211.7155
7713	14	7	149.2953
7739	20	10	45.13158
지선버스 이동성지표 평균			169.7662

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
02	13	6.5	183.5667
03	22	11	98.66703
05	22	11	125.8385
41	15	7.5	158.0482
61	10	5	121.1077
62	10	5	131.5701
순환버스 이동성지표 평균			136.4664

버스 번호	배차간격(분)	대기시간(분)	이동성 지표 (m/분)
강남01	5	2.5	128.0824
강북02	6	3	69.36471
강북06	5	2.5	81.24407
강서03	15	7.5	86.1372
관악02	6	3	116.3123
광진03	7	3.5	118.4727
구로06	6	3	161.921
금천01	3	1.5	119.2167
노원09	8	4	84.53966
도봉02	5	2.5	180.8116
동대문02	9	4.5	53.82698
동작01	5	2.5	118.0223
동작14	11	5.5	112.1819

마포02	5	2.5	87.92293
마포03	10	5	103.4046
서대문02	6	3	89.83491
서대문13	13	6.5	94.40957
서초01	30	15	17.11614
서초10	10	5	60.19924
서초17	7	3.5	141.1787
성동07	48	24	59.96071
성동09	5	2.5	80.14032
성북05	20	10	41
성북22	12	6	32.70309
양천03	7	3.5	147.981
영등포02	13	6.5	99.66361
용산01	15	7.5	69.25526
은평06	8	4	40.10279
종로09	8	4	82.23674
중랑01	16	8	21.09658
마을버스 이동성지표 평균			88.93527

<부록 4> 각 시내버스 연결성지표 결과 값

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
9401	57	245	3	7.216528
9401B	59	250	3	7.016662
9403	131	380	25	10.04196
9404	106	330	14	8.417408
9408	113	405	28	15.04041
9409	102	409	11	9.588149

9503	111	223	21	6.912077
9701	132	272	28	7.699174
9703	116	237	18	6.132833
9707	75	160	11	6.1696
9709	138	291	21	6.248157
9710	136	289	26	7.365625
9711	83	310	16	13.02279
9714	40	130	10	13.73125
광역버스 연결성지표 평균				8.900187

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
102	69	590	9	22.93825
108	164	835	24	14.70315
120	87	682	15	25.27428
144	95	733	16	24.47936
171	84	720	8	19.10204
202	99	816	21	30.79669
240	120	670	16	15.18667
263	64	361	14	21.55776
272	95	827	18	29.98276
273	108	763	24	27.31728
302	113	401	18	10.84072
320	79	143	16	6.539369
342	127	785	18	17.4823
360	92	853	41	62.57416
401	94	605	18	22.33488
441	90	322	14	10.75719
461	141	871	19	16.9153
472	66	457	11	21.81136
500	95	995	38	64.51789

507	100	806	18	26.77532
540	91	385	12	11.42773
571	122	600	22	16.35851
602	79	617	21	34.59194
605	99	791	32	41.30536
643	77	663	16	31.69071
673	91	491	9	12.27945
700	93	228	17	8.232674
707	95	272	20	10.63889
720	109	957	25	34.7568
753	97	645	24	27.87299
간선버스 연결성지표 평균				24.03473

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
1113	32	145	2	8.18457
1120	54	184	7	9.10535
1137	73	410	7	12.5639
1218	81	395	2	6.429813
1224	86	577	28	34.88837
2013	78	389	11	14.06001
2211	53	138	3	4.50502
2233	119	593	16	13.62631
2412	90	158	5	3.013704
3011	81	476	16	20.85085
3212	62	154	1	3.000676
3314	52	282	3	9.459098
3414	70	485	17	28.6348
3422	87	478	19	20.97289
4212	71	412	20	26.88911
4318	99	662	22	25.85589

4426	32	89	3	6.144824
4433	32	80	6	8.546875
5413	85	565	4	10.68221
5515	30	196	4	17.77067
5530	112	737	17	19.46493
5627	56	237	3	7.156856
6511	73	336	9	11.92299
6620	60	258	10	13.545
6631	89	447	9	11.57426
6715	59	350	6	13.71445
7011	79	237	12	8.878481
7021	77	639	16	30.54353
7713	59	317	7	13.59612
7739	48	266	5	12.98828
지선버스 연결성지표 평균				14.28566

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
02	2	43	23	3.96673
03	4	76	22	11.55702
05	3	78	20	11.4465
41	7	200	49	11.6035
61	4	60	13	22.93491
62	2	66	10	23.628
순환버스 연결성지표 평균				14.18944

버스번호	경유 정류장 수 (개)	경유 정류장 총 노선 수 (개)	경유 지하철역 수 (개)	연결성지표 (1정류장 연결노선)
강남01	33	49	5	4.387052

강북02	30	34	1	1.620667
강북06	36	68	1	2.565741
강서03	73	94	2	1.742766
관악02	39	38	2	1.618935
광진03	41	56	2	2.225342
구로06	27	33	2	2.390123
금천01	28	86	3	7.316582
노원09	37	36	4	2.329876
도봉02	27	62	1	3.393416
동대문02	17	18	3	3.469204
동작01	44	81	5	4.539514
동작14	23	45	2	4.151229
마포02	17	25	2	3.702422
마포03	15	14	4	4.144
서대문02	43	47	6	3.060465
서대문13	31	75	2	4.432882
서초01	32	95	12	17.33008
서초10	38	98	5	6.956371
서초17	40	76	7	6.18925
성동07	11	15	3	6.161157
성동09	16	16	1	1.80625
성북05	10	10	0	1
성북22	12	14	1	2.420833
양천03	59	58	3	1.627866
영등포02	39	45	6	3.443787
용산01	25	24	2	1.95072
은평06	21	20	2	2.122449
종로09	19	25	3	3.995845
중랑01	18	17	2	2.298148
마을버스 연결성지표 평균				3.813099

Abstract

A Study on Functional Index of City Bus Using Smart Card Data: The case of Seoul

Advised by
Prof. Lee, Youngin

December, 2015

Submitted by
Jang, Donguk

Department of Environmental Planning
Graduate School of Environmental Studies
Seoul National University

Buses running in Seoul are divided into red, blue, green, yellow and town bus according to their intended purposes. Red bus rapidly connects Seoul to cities in the capital area, blue bus runs long distance within the city, green bus connects to subways and yellow bus circulates between certain sections and town bus runs short distance within the district.

This study, using smart card data, developed the functional indices through which to compare·analyze city buses currently divided based on their roles. The developed function indices, which are accessibility, mobility, connectivity, were respectively set to measure use proximity, mobile efficiency and transfer possibility.

This study could pull out function indices that show red bus is a bit low in accessibility and connectivity but serves highly mobile long distance transportation purpose. Blue and green bus resulted in high connectivity because they are well connected to subway stations.

Yellow bus, due to its specific function of circulating certain short distance, showed all low values towards the presented indices while village bus showed very high values in accessibility though low in mobility and connectivity.

Comparative analysis through the functional indices showed a direction that most buses serve their original purposes. As their credibility of functional indices go higher in the days coming, it seems that we can either evaluate newly installed lines or comparatively evaluate urban bus lines by the region.

◆ **Keywords : city bus, functional index, smart card, mobility, accessibility, connectivity**

◆ **Student Number : 2014-24021**